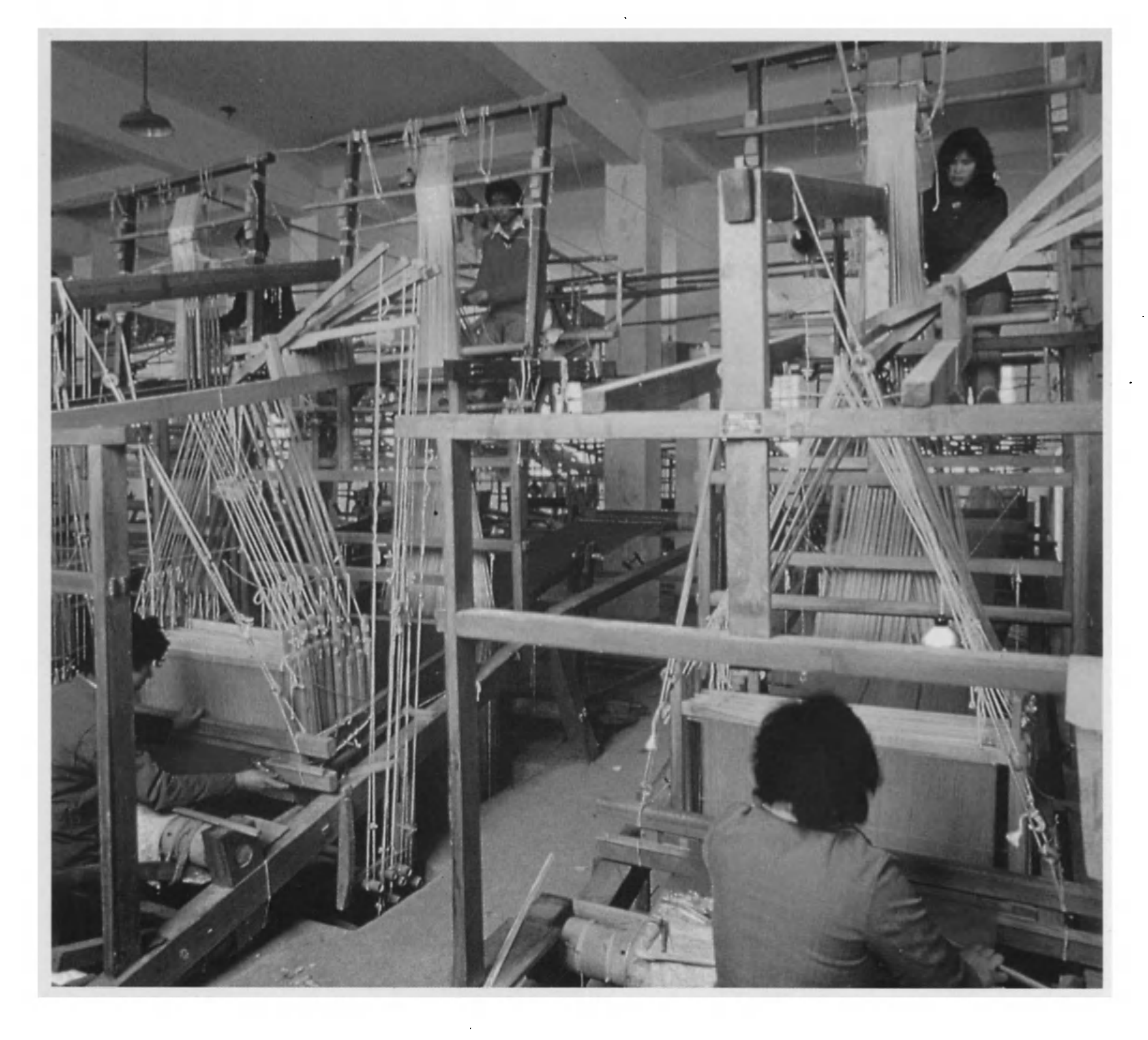
UNESCO le Courrier
OCTOBRE 1988 - 9 FF

LE GÉNIE SCIENTIFIQUE DE LA CHINE

M1205 - 810 - 9F

3000 ans d'inventions et de découvertes



TISSER LE BROCART DE NUAGES

Modèles contemporains d'un métier à tisser à la tire chinois
datant de la dynastie des Ming (1368-1644). Les métiers de ce type, sommet
de la technologie du tissage, servaient à fabriquer
des étoffes façonnées, notamment le brocart de nuages (*yunjin*), soierie polychrome
au décor de fleurs et de nuages. Tandis que le tisserand effectue
les croisures en pédalant, un ouvrier placé plus haut, appelé *tireur de lacs*,
réalise le dessin. L'automatisation de la production de ce
brocart étant toujours difficile à réaliser, on emploie encore
aujourd'hui les anciennes méthodes.

Octobre 1988

Textes : copyright © Éditions Bordas, Paris 1987

Notre couverture : cette représentation de taches solaires provient d'un manuscrit de l'empereur Zhu Gaoji (Xuanzong) des Ming, *Des prévisions astronomique et météorologique*, datant de 1425. On pense que l'auteur de l'illustration est l'empereur lui-même. (Voir aussi page 9).
Photo © Bibliothèque de l'Université de Cambridge, Royaume-Uni

Couverture de dos : « Le travail de la métallurgie en présence de l'empereur de Chine » (détail). Planche d'un album du 19e siècle conservé à la Bibliothèque nationale à Paris.
Photo Jean Loup Charmet © Archives Photeb, B.N., Paris



le Courrier
Une fenêtre ouverte sur le monde
41e année

Mensuel publié en 35 langues Français Anglais Espagnol Russe Allemand Arabe Japonais Italien Hindi Tamoul Persan Hébreu Néerlandais Portugais Turc Ourdou Catalan Malais Coréen Kiswahili Croato-Serbe Macédonien Serbo-Croate Slovène Chinois Bulgare Grec Cinghalais Finnois Suédois Basque Thaï Vietnamien Pachto Haoussa

le courrier du mois

Un grand nombre de choses qui font partie intégrante du monde moderne — du papier à la porcelaine, de l'horloge mécanique au harnais, de la fabrication du fer à l'exploitation du pétrole et du gaz naturel — sont d'origine chinoise. Pendant des siècles, ces réalisations, mais aussi beaucoup d'autres où s'affirma l'inventivité chinoise, furent oubliées ou occultées jusqu'à ce que, ces dernières années, on prenne toute la mesure du génie scientifique de la Chine. Cette redécouverte est due en grande partie à l'une des aventures intellectuelles les plus notables de notre époque : les travaux et les recherches que Joseph Needham, professeur à l'Université de Cambridge (Royaume-Uni), consacre depuis plus d'un demi-siècle à la science et aux techniques chinoises. Le fruit de ses investigations et de celles menées par ses collaborateurs du Needham Research Institute de Cambridge est publié dans un ouvrage monumental, *Science and Civilisation in China* : sur les vingt-cinq volumes prévus, quinze sont déjà parus.

Avec l'autorisation de Joseph Needham, le vulgarisateur scientifique américain Robert K.G. Temple a écrit un livre, *China, land of Discovery and Invention*, paru en français sous le titre *Quand la Chine nous précédait* (éd. Bordas, Paris 1987), qui met à la portée du grand public l'ouvrage d'érudition du savant britannique. Tous les articles publiés dans ce numéro sont repris, sous une forme abrégée, du livre de Robert K.G. Temple, avec l'aimable autorisation des éditions Bordas. Ce numéro s'articule en trois parties : une brève introduction dans laquelle Temple évoque la genèse et l'importance de l'œuvre de Needham; un texte court où celui-ci situe l'activité scientifique et technique dans son contexte social et économique; une vingtaine de descriptions, pour la plupart simplifiées, d'inventions et de découvertes chinoises. Peut-être ce numéro, hommage au génie scientifique de la Chine, donnera-t-il un avant-goût des surprises que nous vaudra, quand elle sera écrite, l'histoire des sciences et des techniques dans d'autres grandes civilisations du monde.

Le génie scientifique de la Chine

PAR ROBERT K. G. TEMPLE



Détail d'une carte céleste chinoise datant de 940 après J.-C. environ qui reproduit quelque 1 350 étoiles en trois couleurs, noir, blanc ou ocre, correspondant aux observations respectives des trois anciens fondateurs de l'astronomie chinoise.

Il est probable que plus de la moitié des inventions et des découvertes fondamentales sur lesquelles repose le « monde moderne » viennent de la Chine. Et pourtant, rares sont ceux qui le savent.

Sans l'introduction des découvertes chinoises relatives à la navigation — le gouvernail, le compas et les mâts multiples — les grands voyages exploratoires européens n'auraient jamais été entrepris, Christophe Colomb n'aurait pas atteint l'Amérique et les Européens n'auraient jamais fondé leurs empires coloniaux.

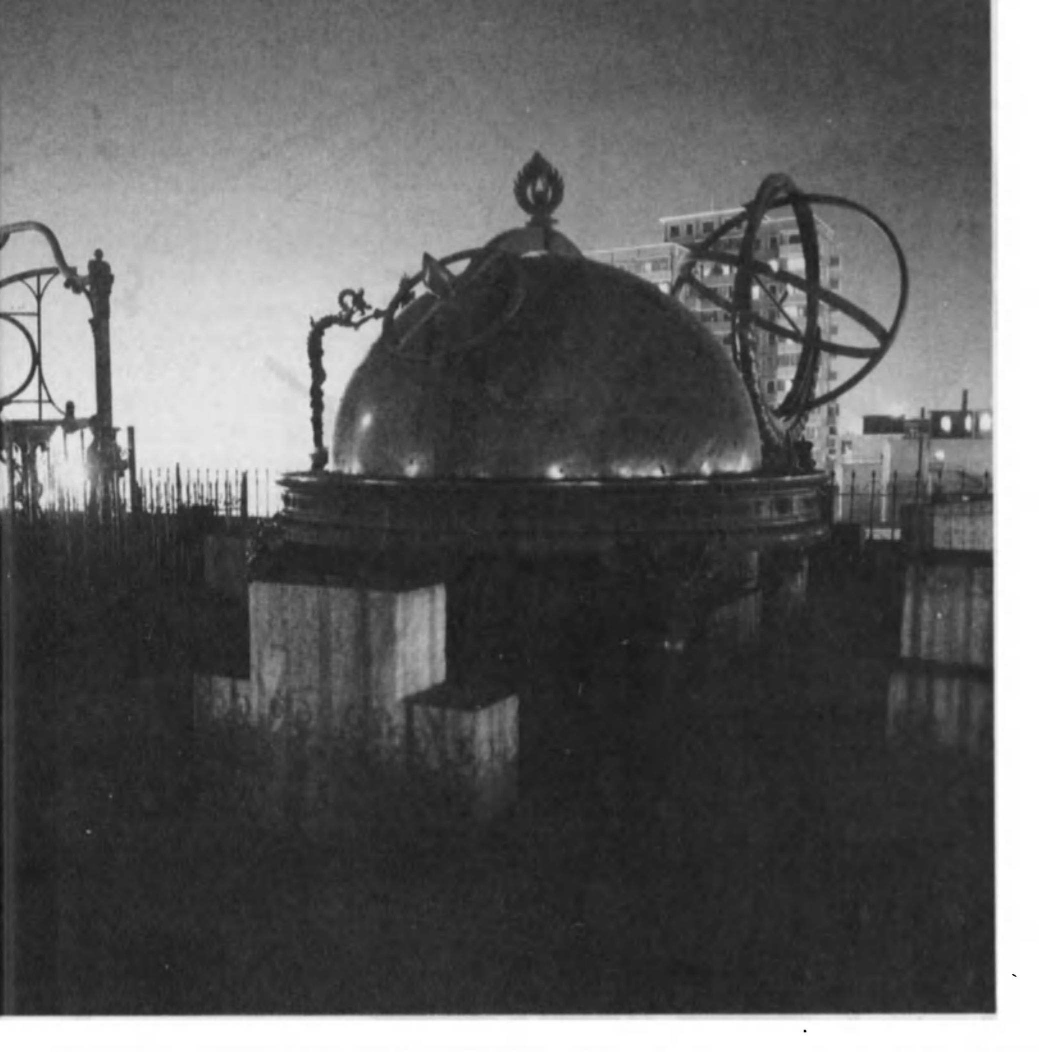
Sans l'étrier inventé en Chine, les anciens chevaliers n'auraient jamais pu chevaucher dans leurs armures scintillantes pour voler au secours des damoiselles en détresse : il n'y aurait pas eu de chevalerie. Et sans les canons et la poudre, importés de Chine, ces même chevaliers n'auraient pas été jetés à bas de leurs destriers ni transpercés par les boulets qui mirent fin à cette même chevalerie.

Sans le papier et l'imprimerie importés de Chine, l'Europe aurait longtemps encore continué de recopier ses manuscrits à la main, car ce n'est pas Johan Gutenberg qui a inventé le caractère d'imprimerie mobile (voir le numéro de juillet 1988 du *Courrier de l'Unesco*). Ce sont les Chinois. Ce n'est pas William Harvey qui a découvert la circulation sanguine. Ce sont, selon toute vraisemblance, les Chinois. Ce n'est pas Isaac Newton qui a été le découvreur de la première loi du mouvement. Ce sont toujours les Chinois.

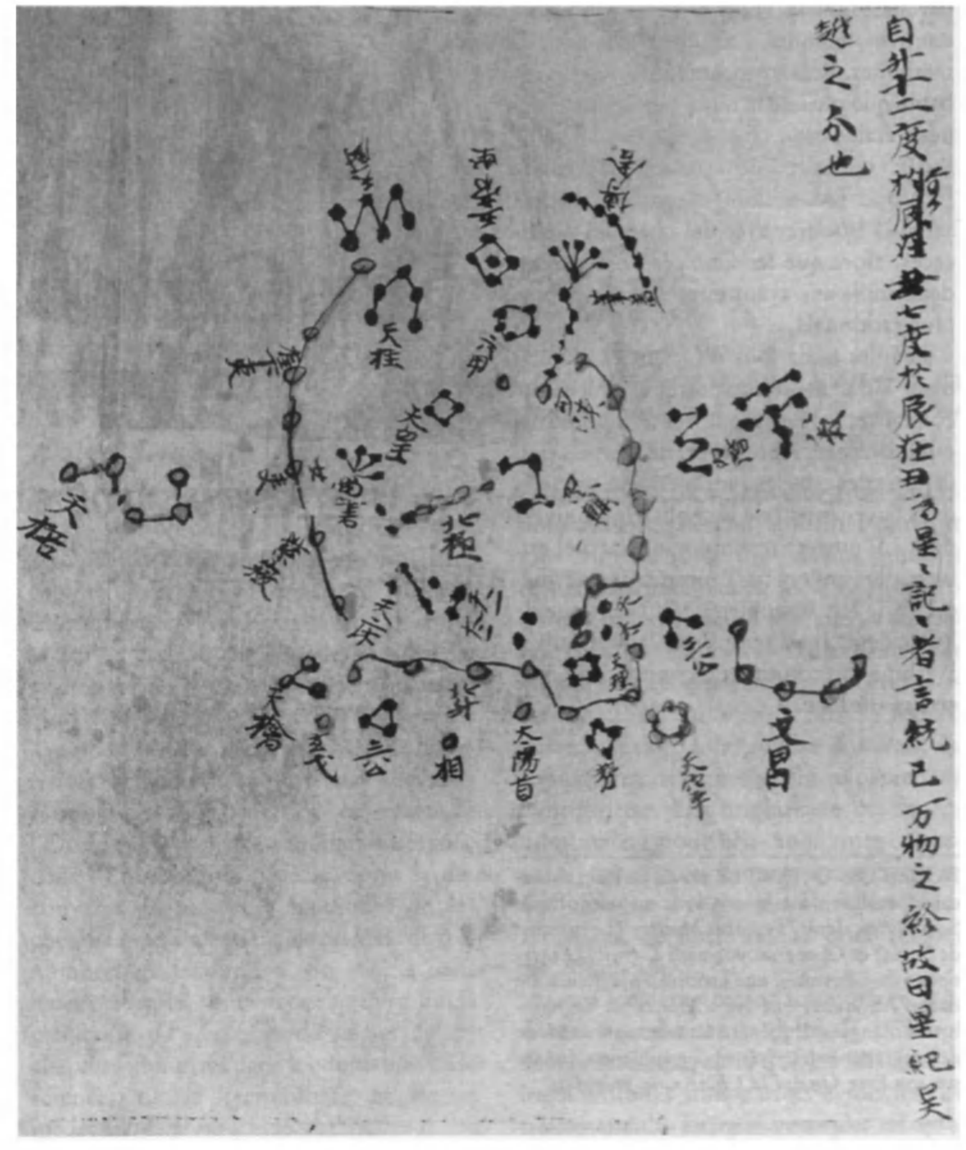
Ces idées reçues, comme beaucoup d'autres, sont balayées par la redécouverte récente de l'origine chinoise d'un grand nombre de techniques et de technologies qui constituent notre environnement quotidien. Certaines de nos plus grandes réalisations se révèlent n'être que des emprunts. Il est passionnant de constater à cette occasion que l'Orient et l'Occident sont, dans les mentalités ou dans les faits, bien moins éloignés que nous serions tentés de le croire. Ils ont déjà opéré une synthèse si féconde et si profonde qu'elle a tout *pénétré*. C'est dans cette synthèse que nous vivons quotidiennement, et en dehors d'elle il n'y a pas d'issue. Le monde



Paysans en train de sarcler sous la dynastie des Han (207 avant J.-C.-220 après J.-C.). Le sarclage intensif et la culture en lignes sont nés en Chine vers le 6ᵉ siècle avant J.-C.



Instruments astronomiques de l'observatoire de Beijing, qui fut construit au 15e siècle. La ville a possédé un observatoire dès la dynastie des Qin (3e siècle avant J.-C.).



moderne est donc une combinaison d'éléments orientaux et occidentaux inextricablement soudés.

La redécouverte de cette vérité dépend principalement d'incidents qui ont affecté la vie d'un savant célèbre, Joseph Needham, auteur d'une œuvre monumentale intitulée *Science and Civilisation in China*. En 1937, à l'âge de trente-sept ans, Needham était déjà le plus jeune membre de la *Royal Society* (l'Académie des sciences britannique) et un éminent biochimiste de l'Université de Cambridge. Il avait déjà publié de nombreux livres, dont une histoire définitive de l'embryologie. Il rencontra un jour des étudiants chinois et sympathisa avec eux, en particulier avec une jeune femme de Nankin, Lu Gwei-djen, qui tenait de son père une connaissance approfondie de la science chinoise. Needham l'écouta raconter comment la Chine avait inventé telle ou telle chose importante, mais il ne la crut tout d'abord pas. C'est en réexaminant cette question dans des textes chinois, rapidement traduits à son intention par ses nouveaux amis, que l'évidence s'imposa peu à peu à lui.

Needham devint obsédé par le sujet, comme il l'admet volontiers. Ignorant le chinois, il entama l'étude de cette langue. En 1942, il fut envoyé en Chine pour quelques années à titre de conseiller scientifique auprès de la légation du Royaume-Uni à Chungking. Il voyagea dans toute la Chine, apprit à parler couramment la langue, rencontra des hommes de science partout où il se rendit et fit l'acquisition d'un grand nombre d'ouvrages scientifiques chinois. Après la guerre, il devint le premier Directeur général adjoint de l'Unesco pour les sciences naturelles.

En juillet 1946, au cours d'une conférence devant la *China Society* de Londres, il fit cette remarque : « Ce qui fait cruellement défaut, c'est un livre sur l'histoire de la science et de la technologie chinoises, qui fasse référence à l'arrière-plan économique et social de la vie chinoise. Un tel ouvrage ne devrait surtout pas être académique, mais tenir largement compte de l'histoire générale de la pensée et des idées. »



Les plus anciennes annotations chinoises connues sont des inscriptions oraculaires faites il y a plus de 3 000 ans sur les os utilisés dans la divination (carapaces de tortues ou omoplates d'animaux). Certains os, découverts près d'Anyang, apportent des informations ayant trait à l'astronomie ou au calendrier, comme les noms des étoiles ou des données sur les éclipses solaires et lunaires. Ci-dessus, deux os divinatoires d'Anyang portant des inscriptions astronomiques.

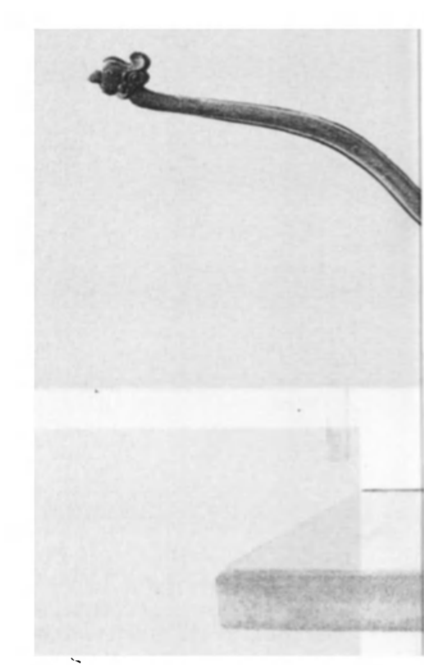
Needham, de retour à Cambridge, poursuivit son œuvre et commença à écrire — un travail qu'il poursuit toujours — le livre qu'il envisageait. Peu de lecteurs profanes pourraient se lancer dans les treize volumes publiés à ce jour de *Science and civilisation in China*. Cet ouvrage est en réalité beaucoup plus aisé à lire qu'il y paraît, mais il est très coûteux et rares sont les bibliothèques qui peuvent l'acquérir. Needham n'avait pas perdu de vue son ancien souhait de faire un livre qui ne soit « surtout pas académique » : il a toujours voulu que son livre soit plus accessible. Aussi, lorsque je l'approchai en 1984 avec l'idée d'écrire un ouvrage accessible au grand public et fondé sur son travail d'un demi-siècle, il accepta plus volontiers que je ne m'y serais attendu. Il est à présent certain que c'était là un projet qu'il caressait depuis longtemps, et qu'il croyait ne plus pouvoir accomplir lui-même.

Au cours de cette conférence de 1946, si prophétique de ses activités futures, Needham ajouta : « Je pense pour ma part que tous les occidentaux, tous ceux qui se reconnaissent dans la civilisation euro-américaine, sont enclins à éprouver quelque secrète satisfaction à l'idée que l'Europe, et son prolongement dans les Amériques, sont à la source de la science et de la technique modernes. Parallèlement, il me semble que tous mes amis d'Asie ressentent obscurément une sorte de malaise à croire que leur civilisation est étrangère au développement de cette science et de cette technologie. »

Il nous appartient de rétablir la vérité, pour les uns comme pour les autres. On ne saurait trouver meilleur exemple, à cet égard, que l'histoire de l'agriculture moderne. Si surprenant et troublant qu'il nous paraisse, nous ne devons pas perdre de vue un instant le fait que la révolution agricole, qui a précédé en Europe la révolution industrielle, n'a été rendue possible que par les idées et les inventions empruntées à la Chine. La culture en ligne et le sarclage intensif, le semoir en ligne, le soc de charrue en fer, le versoir qui retourne la terre lors de l'avance de la charrue, tout cela est venu de Chine. Avant le harnais à traits et le harnais à collier, tous deux originaires de Chine, les Européens manquaient étrangler leurs montures avec un harnachement de sangles passées autour du cou des chevaux. L'Italie de l'Antiquité produisait des quantités de céréales qu'il n'était pas possible de transporter jusqu'à Rome faute de harnais efficaces. Aussi, Rome était-elle tributaire de l'importation par bateaux de grain en provenance de contrées comme l'Egypte. Quant aux méthodes d'ensemencement — il est probable que plus de la moitié du grain européen était perdu chaque année avant que l'idée chinoise du semoir n'atteigne l'Europe. Des millions de paysans s'épuisèrent à labourer avec des charrues inefficaces, alors que les Chinois possédaient, deux mille ans avant eux, des outils bien plus rationnels.

Peuples et nations d'Orient et d'Occident auraient tout intérêt à mieux se connaître, à franchir le fossé intellectuel qui les sépare. Après tout, ne sont-ils pas, depuis des siècles, intimement associés dans l'avènement de la civilisation universelle ? L'univers technologique actuel est, bien plus qu'on ne l'aurait imaginé jusqu'ici, le fait aussi bien de l'Orient que de l'Occident. Il est temps que la part qu'y a la Chine soit connue et reconnue d'un côté comme de l'autre. ■

ROBERT K. G. TEMPLE est un écrivain américain spécialisé dans la vulgarisation scientifique. Ses œuvres, dont *The Sirius Mystery* (Le mystère de Sirius) et *Conversations with Eternity* (Entretiens avec l'éternité), une histoire de la divination dans l'Antiquité, ont été traduites en de nombreuses langues. Il prépare actuellement une série de programmes télévisés en coproduction, fondés sur son livre *Quand la Chine nous précédait.*



Les Chinois

PAR JOSEPH NEEDHAM



Reconstitution d'un instrument mesurant le chemin parcouru ou compteur de *li*, datant de la dynastie des Tang (7ᵉ siècle). Un coup était frappé automatiquement sur le tambour par l'une des figurines à chaque *li* franchi par le chariot, unité chinoise de distance correspondant à 500 m.

: des précurseurs de la science moderne

L'EXTRAORDINAIRE sens de l'invention de la Chine antique et médiévale, associé à une fine perception des phénomènes naturels, soulève deux questions fondamentales. Pourquoi la Chine a-t-elle pu conquérir une telle avance sur les autres civilisations et pourquoi n'a-t-elle pas conservé cet avantage ? Tout cela résulte, croyons-nous, de différences structurelles entre ses systèmes économiques et sociaux et ceux de l'Occident. La science « moderne » est née dans l'Europe du 17ᵉ siècle, après la découverte de nouvelles méthodes de recherche — et seulement alors. Mais de très nombreuses inventions, du moins dans leurs principes, sont encore aujourd'hui la résultante de siècles et de siècles de recherches chinoises dans les domaines de la science, de la technologie et de la médecine.

Francis Bacon a écrit que trois inventions avaient, selon lui, contribué plus que tout autre chose, plus même que les convictions religieuses, les influences astrales ou les gestes des grands conquérants, à transformer radicalement le monde moderne et à l'éloigner définitivement de l'Antiquité et du Moyen Age. Il faisait allusion à la poudre à canon, au compas magnétique et enfin au papier et à l'imprimerie. Les origines de ces inventions étaient pour lui « anonymes et obscures » et il mourut sans même avoir su que chacune d'elles était chinoise. Nous avons fait de notre mieux pour réparer cette injustice.

Les Occidentaux ont toujours eu tendance à minimiser la dette de l'Europe envers la Chine, alors que les filiations et les similitudes sont parfois évidentes. Le traitement du fer, par exemple, tel qu'il était effectué dans les pays scandinaves au 8ᵉ siècle est assez semblable à ce qui se faisait en Chine cent ans plus tôt et, au 17ᵉ siècle encore, toutes les boussoles utilisées par nos savants ou nos navigateurs indiquaient non pas le nord, mais le sud, comme cela avait toujours été le cas en Chine. Il faut avouer que nous ignorons la plupart du temps par quelles voies les connaissances se sont transmises de l'Orient à l'Occident. En revanche, il nous a paru raisonnable de penser que plus le laps de temps écoulé entre le moment de la découverte d'une technique quelconque dans une partie du monde et celui de son apparition ailleurs a été long, moins il est probable que la seconde invention se soit produite de façon indépendante.

Même si nous parvenons à nous entendre sur ce point, il reste à répondre à une autre question, à la fois embarrassante et cruciale. Si les Chinois ont joui, pendant l'Antiquité et jusqu'au Moyen Age, d'une telle avance, comment se fait-il que la révolution scientifique et industrielle, celle qui fit accéder le monde à l'ère de la science moderne, se soit produite en Europe — et seulement en Europe ?

Le fait est qu'avec notre 17ᵉ siècle nous avons affaire à un changement global. La révolution scientifique ne se produit pas de façon isolée : elle est accompagnée et complétée de la réforme protestante, de l'émergence du capitalisme et de l'ascension de la bourgeoisie libérale. De façon caractéristique, la science moderne, qui se développa alors, fut la conjonction parfaite et presque mathématiques d'hypothèses, d'empirisme et d'expérimentation. Les sciences des mondes antique et médiéval avaient un caractère indubitablement ethnique alors que tout d'un coup, pour la première fois, on s'adressait à la nature et au réel dans une langue internationale, précise, parfaitement quantitative — les mathématiques — une langue que n'importe quel être humain, quelles que soient sa couleur, sa croyance ou sa race, est à même d'utiliser et de maîtriser après



Cette tour, qui servait à mesurer l'ombre du soleil lors des solstices d'hiver et d'été, était considérée par les anciens astronomes chinois comme le centre du monde. Un gnomon (cadran solaire), haut de 13 m environ, était placé dans la niche centrale et l'ombre projetée était mesurée sur un plateau à ombre gradué en pierre de 40 m de long environ (au premier plan). L'édifice actuel est une reconstruction datant de la dynastie des Ming (1368-1644) de l'observatoire initial bâti vers 1276.

un apprentissage approprié. Le même raisonnement s'applique à l'expérimentation : chacun aborde les questions de causalité en fonction de son propre bagage. Un théologien attribuera la responsabilité de cette libération intellectuelle à la Réforme. Un homme de science à l'ancienne pensera que c'est le mouvement des idées et des sciences qui est le moteur de tous les autres mouvements. Un marxiste prétendra que toute évolution est due à des changements économiques et sociaux.

Il est un autre facteur dont l'action a été déterminante pour notre question, à savoir le caractère fondamentalement différent du phénomène féodal en Europe et en Chine. Le féodalisme européen était d'essence militaro-aristocratique. La paysannerie était encadrée par les chevaliers installés en leurs manoirs, seigneurs qui étaient eux-mêmes soumis à des barons administrant depuis leurs châteaux, dépendant à leur tour du roi en son palais. En cas de guerre, le souverain devait faire appel à tous les étages inférieurs de la hiérarchie féodale, qui lui amenaient chacun un nombre déterminé d'hommes de guerre. Fort différent est assurément le féodalisme chinois, qui fut longtemps et à juste titre qualifié de bureaucratique.

A partir du règne du premier empereur, Qin Shi Huangdi (3e siècle avant J.-C.), les anciennes maisons féodales héréditaires furent graduellement affaiblies puis détruites, tandis que le souverain gouvernait assisté d'une bureaucratie immense, administration civile d'une ampleur et d'une complexité d'organisation inconcevables dans les royaumes fragmentés d'Europe. Les recherches modernes ont demontré que cette bureaucratie chinoise des plus imposantes constitua en un premier temps un vigoureux adjuvant à l'évolution scientifique. Aucune autre nation n'était capable, par exemple, au début du 8e siècle, de monter et d'envoyer une expédition pour observer les étoiles dans l'hémisphère sud dans un rayon de 20 degrés à peine du pôle. Aucune autre nation ne l'aurait même envisagé.

Il n'est pas impossible que dans l'avenir cette tendance se manifeste à nouveau dans le domaine des sciences, des techniques et de la médecine, dès que les connaissances des grandes cultures orientales classiques, comme celles de l'Inde ou de Sri Lanka, se trouveront écrites et rassemblées. L'Europe a profité de cet héritage et l'a transformé en une science et une technique œcuméniques, universelles, à la portée de tous. Cette transformation à son tour peut être profitable, mais il ne faut pas que les manques et les faiblesses des traditions typiquement européennes viennent « détourner » les civilisations non européennes de leur finalité.

Ainsi, les systèmes de pensée de la Chine et de l'Islam n'ont jamais séparé la science de l'éthique, alors qu'avec la révolution scientifique européenne, la « cause finale » d'Aristote et l'éthique furent balayées du savoir et les choses se firent plus menaçantes. Cette rupture fut positive en ce sens qu'elle permit une meilleure séparation et une meilleure distinction des différentes formes d'expérience humaine, mais elle devint dangereuse dans la mesure où elle donna à des hommes malfaisants la possibilité d'user des grandes découvertes de la science moderne en les dévoyant dans des activités désastreuses pour l'humanité.

La science se doit d'être vécue parallèlement avec la religion, la philosophie, l'histoire et l'esthétique. Elle serait inhumaine sans cela. Nous devons espérer que le potentiel destructeur des armes atomiques, par exemple, que la science a placé dans tant de mains, restera contrôlé par des hommes responsables et sensés et que des maniaques ne lâcheront pas sur l'humanité des forces maléfiques, irrémédiablement destructrices, qui effaceraient toute forme de vie de la surface de notre globe. ■

JOSEPH NEEDHAM, historien britannique, est un spécialiste de la science et de la technologie chinoises. A la tête de l'institut de recherches qui porte son nom à Cambridge (Royaume-Uni), il dirige, depuis plus de 40 ans, la publication et la rédaction d'une monumentale histoire de la science et de la civilisation en Chine (*Science and Civilisation in China*) en plusieurs volumes.

Les taches solaires

La plupart des taches solaires que l'on observa en Occident avant le 17e siècle furent simplement considérées comme les traces des planètes Vénus et Mercure passant devant le Soleil. La théorie de « la perfection des Cieux » interdisait même d'admettre la moindre imperfection à la surface du Soleil.

Les Chinois, eux, n'avaient pas entretenu un tel mythe de la perfection. Certaines taches solaires étant assez grandes pour être visibles à l'œil nu, ils les avaient naturellement remarquées et prises pour telles. Le plus ancien rapport d'observation qui nous soit parvenu est dû à l'un des trois premiers astronomes connus, Gan De, qui vivait au 4e siècle avant J.-C. Avec l'aide de deux de ses contemporains, Shi Shen et Wu Xian, il dressa le premier grand catalogue d'étoiles. Ce travail était tout à fait comparable à celui du Grec Hipparque, mais il le précédait de deux cents ans.

La mention suivante d'une observation des taches solaires date de 165 avant J.-C. On nous dit en effet, dans un recueil assez tardif, *L'Océan de Jade*, que cette année-là apparut à la surface du Soleil le caractère chinois *wang* (roi). Il s'agissait d'une tache solaire qui paraissait non pas ronde mais en forme de croix avec une barre coiffant le sommet et une autre soulignant la base. Pour l'astronome D.J. Schove, il s'agit là de la plus ancienne mention d'une tache solaire datée avec précision. La compilation des observations de ces taches dans les volumineuses et officielles chroniques impériales chinoises commence le 10 mai de l'an 28 de notre ère, mais les observations elles-mêmes remontent probablement au 4e siècle avant J.-C. La perte d'une grande partie des textes de cette époque nous prive d'une information plus détaillée.

Aujourd'hui encore, beaucoup croient que Galilée fut le premier à observer les taches solaires, au moyen du télescope qu'il aurait d'ailleurs inventé. Ceci est doublement faux. Galilée n'a pas inventé le télescope, bien qu'il fût le premier à s'en servir pour étudier les corps célestes objectivement — ce qui ne manquait pas de courage en son temps. Quant aux taches solaires, on les mentionne clairement dans la très ancienne *Vie de Charlemagne* d'Eginhard, autour de 807 de notre ère.

Plus tard, d'autres observations de ces mêmes taches furent faites par l'astronome arabe Abou al Fadl Jaafar ibn al-Mouqtafi en 840, par Ibn Rushd (Averroès) autour de 1196 et enfin par des observateurs italiens autour de 1457.

Needham a comptabilisé les observations de taches solaires reprises dans les chroniques officielles chinoises entre 28 avant J.-C. et 1638 après J.-C. Il en a relevé 112. Des centaines de notes sur les taches solaires apparaissent dans d'autres livres chinois au fil des siècles. Ces recensements chinois constituent la série la plus ancienne, la plus longue et la plus continue de toutes les observations de ces phénomènes faites de par le monde. ■

La Rédaction tient à exprimer ses remerciements aux organisateurs de la grande exposition sur la science et les techniques chinoises, « Chine Ciel et Terre, 5000 ans d'Inventions et de Découvertes », pour l'aide qu'ils ont apportée à la préparation de ce numéro. Cette exposition a lieu aux Musées Royaux d'Art et d'Histoire de Bruxelles du 16 septembre 1988 au 16 janvier 1989.

La fonte

Les Chinois possédaient la technique des hauts-fourneaux pour la fabrication de la fonte dès le 4e siècle avant J.-C. Les raisons de cette avance sont multiples. Les Chinois disposaient d'excellentes argiles réfractaires pour la construction des parois des hauts-fourneaux. Ils savaient également comment abaisser la température de fusion du fer : ils jetaient dans les hauts-fourneaux une matière qu'ils appelaient « terre noire », contenant beaucoup de phosphate de fer. Si on ajoute à un mélange ferreux jusqu'à 6 pour cent de phosphore, la température de fusion, qui est normalement de 1 130 degrés, descend jusqu'à 950 degrés. Cette technique fut employée en Chine dans les premiers temps, mais disparut avant le 6e siècle après J.-C., lorsque l'amélioration des hauts-fourneaux permit de s'en passer.

L'emploi du charbon, qui donne une température plus élevée, remonte au moins au 4e siècle après J.-C. Une des méthodes consistait à placer le minerai de fer dans des batteries de creusets tubulaires allongés et de recouvrir celles-ci d'une masse de charbon qu'on faisait brûler. Grâce à cette technique, le soufre était exclu du processus.

L'emploi généralisé de la fonte dans la Chine ancienne eut des conséquences importantes, comme l'usage en agriculture de socs de charrue coulés, ainsi que d'autres outils en fer comme les houes. On disposait aussi de couteaux, de haches, de ciseaux, de scies et de poinçons en fer. La nourriture était cuite dans des ustensiles en fonte, matériau dont on fabriquait même des jouets. Les tombes de la dynastie Han, du 2e siècle avant J.-C. au 2e siècle après J.-C., contiennent des statuettes de fonte représentant des animaux. On a également découvert des moules datant du 4e siècle avant J.-C. et ayant servi à couler, en bronze ou en fer, des houes et des haches.

Une technique poussée de la fonte permettait de réaliser des pots et des casseroles de très faible épaisseur, ce que n'autorisait aucune autre méthode de travail du fer. Ces récipients à parois fine étaient indispensables pour la production en masse du sel par évaporation de la saumure, et ceci conduisit les Chinois à exploiter le gaz naturel grâce à des forages profonds (voir page XX), pour en utiliser l'énergie dans cette industrie du sel, qui prit de grandes proportions lorsque la dynastie Han la nationalisa en 119 avant J.-C., en même temps que celle du fer. Aussi bien l'industrie du gaz que celle du sel auraient été impossibles sans celle de la fonte.

Au 3e siècle avant J.-C., les Chinois découvrirent que la fonte pouvait être rendue malléable par le recuit, qui consistait à la maintenir à haute



La pagode Yu Quan à Dangyang (Hubei) est entièrement construite en fonte. Erigée en 1601, elle est la plus ancienne pagode existante dans ce matériau.

température pendant une semaine environ. Le produit obtenu n'était pas cassant : il résistait aux chocs, même violents. Les socs de charrue, par exemple, ne se brisaient plus lorsqu'ils heurtaient de grosses pierres. Cette fonte recuite avait en quelque sorte l'élasticité du fer forgé, mais sa méthode de fabrication lui conférait plus de solidité et de résistance; elle se rapprochait un peu de l'acier.

Certaines réalisations anciennes en fonte sont extraordinaires, telle la pagode qu'on voit ci-contre. La plus grande structure de fonte n'est cependant pas un bâtiment. L'impératrice Wu Zetian fit construire en 695 après J.-C. une colonne de fonte octogonale, appelée *L'Axe céleste commémorant les vertus de la Grande Dynastie Zhou en ses Dix mille domaines.* Elle reposait sur une base de fonte haute de 6 m et ayant 51 m de circonférence. La colonne elle-même, d'un diamètre de 3,60 m, s'élevait à 32 m; elle était surmontée d'une « voûte de nuages » d'une hauteur de 3 m et d'une circonférence de 9 m, soutenant à son tour quatre dragons de bronze hauts de 3,60 m qui portaient une perle dorée. Nous connaissons la quantité de métal qui entra dans sa construction : environ 1 345 tonnes.

Le plus grand objet de fer jamais coulé d'une pièce (les pagodes en comportaient plusieurs) fut érigé sur l'ordre de l'empereur Shizong des Zhou postérieurs (951 à 960) pour commémorer sa victoire sur les Tartares en 954 après J.-C. Cette statue extraordinaire, haute de 6 m, est appelée le Grand lion de Zhangzhou. Elle est creuse : l'épaisseur de ses parois varie de 4 à 20 cm. ■

Lampe-globe tibétaine en cuivre. La lampe au centre est tenue par quatre anneaux concentriques pivotants grâce auxquels elle reste d'aplomb en toutes circonstances.

La suspension à la Cardan

C'est Jérôme Cardan (Girolamo Cardano, 1501-1576) qui donna son nom à ce type de suspension, mais il n'en revendiqua nullement l'invention. Il la décrivit seulement dans son célèbre ouvrage *De Subtilitate* (1550). On la trouve en Europe dès le 9e siècle après J.-C., mais elle fut en fait inventée en Chine au plus tard au 2e siècle avant J.-C.

L'invention du cardan est à la base du gyroscope moderne et a notamment rendu possibles la navigation et le pilotage automatique des avions long-courriers actuels. Ceux qui ont eu la chance de pouvoir visiter une roulotte de gitans du 19e siècle auront remarqué les supensions à la Cardan en cuivre fixées aux parois, qui maintenaient verticales les lampes servant à l'éclairage, même si le véhicule était violemment secoué sur sa route. Ces anneaux de cuivre reliés ensemble peuvent se mouvoir librement sans que la lampe qui se trouve au centre se renverse. C'est là l'idée de base de la suspension à la Cardan; des anneaux tournent l'un à l'intérieur de l'autre en n'étant reliés entre eux qu'en deux points opposés. Si un poids assez lourd, tel qu'une lampe, est placé verticalement en leur centre, il reste vertical; tout mouvement imprimé de l'extérieur est absorbé par les anneaux eux-mêmes, et reste sans effet sur la lampe. Au 18e siècle, les marins chinois employaient un compas suspendu à la Cardan, qui n'était pas affecté par les mouvements dus aux vagues.

C'est dans un poème intitulé *L'Ode aux jolies femmes*, composé vers 140 avant J.-C., qu'on trouve la première référence écrite concernant cette suspension. Plus de trois siècles plus tard, vers 189 après J.-C., on attribua à l'ingénieux mécanicien Ding Huan le mérite d'avoir inventé une seconde fois la suspension à la Cardan.

La suspension atteignit l'Europe après 1100. Huit cents ans plus tard, des savants adoptèrent son principe pour arriver à cette invention occidentale qu'est le joint universel. C'est par un tel joint que la puissance du moteur se transmet aux roues dans une automobile. ■

La technique de l'acier

Si les Chinois furent les premiers à produire la fonte, ils furent également les premiers à pouvoir la transformer en acier. Cette opération se faisait déjà à grande échelle au 2e siècle avant J.-C. et elle fut à la base de l'invention du convertisseur Bessemer en Occident, en 1856. La découverte d'Henry Bessemer avait pourtant été précédée de celle faite en 1852 par William Kelly dans le Kentucky (Etats-Unis). Kelly avait fait venir en 1845 quatre experts chinois de l'acier, et grâce à eux il avait appris les principes qui étaient à la base de la fabrication de l'acier en Chine depuis plus de 2000 ans. Il mit ainsi au point son nouveau procédé.

Le fer, une fois fondu et coulé en lingots, contient du carbone. C'est la proportion de celui-ci qui détermine s'il s'agit de fonte ou d'acier. La fonte est cassante, car elle contient beaucoup de carbone, jusqu'à 4,5 pour cent. La décarburation, ou affinage, consiste à éliminer tout ou partie de ce carbone : s'il en reste un peu, on obtient de l'acier, et s'il n'en reste pas, du fer doux ou du fer à forger. Les Chinois employèrent beaucoup le fer forgé, principalement dans la fabrication de grands ponts ou d'aqueducs.

Le pont suspendu qu'inventèrent les Chinois tenait souvent par des chaînes dont les maillons étaient de fer forgé plutôt que de bambou tressé. Ils appelaient « fer brut » la fonte, « grand fer » l'acier et « fer mûr » le fer forgé. Pour faire « mûrir » le fer, ils comprenaient qu'il fallait faire perdre à la fonte un ingrédient de base, et ils appelaient cela une « perte de sucs vitaux ». Ne connaissant pas la chimie moderne, ils ne pouvaient savoir qu'il s'agissait du carbone.

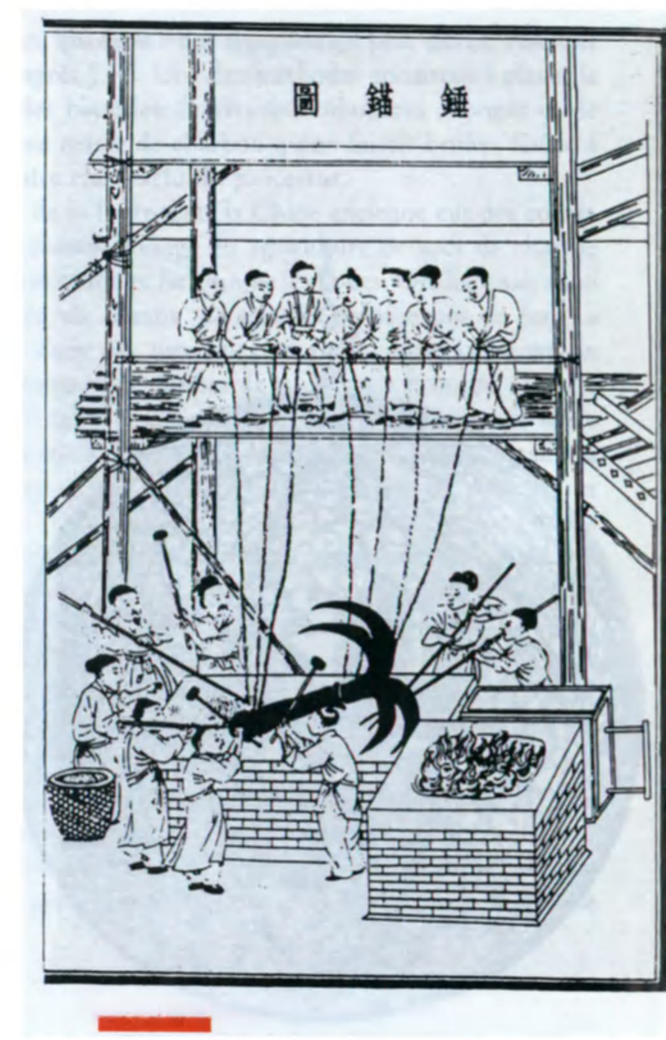
Les Chinois ne furent pas les premiers à fabriquer de l'acier, mais ils inventèrent deux procédés particuliers pour l'obtenir : le premier consistait à éliminer le carbone de la fonte. Cette « décarburation » s'obtenait en soufflant de l'oxygène sur la fonte (oxygénation). Elle est décrite dans l'œuvre classique *Huai Nan Zi*, attribuée à un moine taoïste du même nom, qui date d'environ 120 avant J.-C.

La fabrication de l'acier par ce procédé était également appelée « la méthode des cent raffinages » parce qu'elle était souvent obtenue par de nombreuses répétitions, l'acier devenant de plus en plus solide à chaque passe. Les sabres faits par cette méthode étaient très prisés. Le dos de la lame, non coupant, était souvent fait d'un fer forgé plus souple tandis que le bord tranchant était en acier dur, les deux parties étant soudées ensemble. La teneur en carbone était ajustée en contrôlant la quantité d'oxygène qu'on soufflait sur le fer en fusion.

En règle générale, un acier plus riche en carbone est plus dur, mais aussi plus cassant. La teneur en carbone de l'acier varie entre 0,1 et 1,8 pour cent. Les Chinois ne pouvaient qu'estimer empiriquement les qualités de l'acier obtenu après un certain nombre d'affinages : ainsi, pour obtenir un acier très doux, ils continuaient à souffler de l'oxygène pour enlever de plus en plus de carbone. Ils appliquaient aussi la technique universellement connue de la trempe, qui consiste à refroidir brusquement un acier chauffé au rouge ou au blanc en le trempant dans un liquide : une telle opération préserve la structure micrométallique interne, qui serait altérée par un refroidissement lent. De son côté, le recuit, où l'acier refroidit lentement, présente d'autres avantages. Les Chinois étaient passés maîtres dans les diverses manipulations qui leur permettaient d'obtenir exactement le métal désiré. Jusqu'aux temps modernes, ils furent les premiers pour la technologie du fer et de l'acier.

Vers le 5e siècle après J.-C., les Chinois mirent au point le procédé de « cofusion », dans lequel la fonte et le fer doux étaient fondus ensemble pour donner « quelque chose d'intermédiaire » : de l'acier. C'est essentiellement le procédé Martin et Siemens de 1863, appliqué 1400 ans plus tôt.

Ce procédé était régulièrement employé au 6e siècle, époque à laquelle nous en avons une description chinoise : « Qiu Huaiwen faisait aussi des sabres en "fer de la veille". Sa méthode consistait à cuire la fonte la plus



Gravure chinoise du 17e siècle représentant le forgeage d'une ancre de plusieurs tonnes. L'ancre est manœuvrée avec des chaînes par des hommes juchés sur un échafaudage.

pure, empilée avec des lingots de fer doux; après plusieurs jours et plusieurs nuits, le tout devenait de l'acier. »

Son Yinxing nous fournit en 1637 des détails précis : « La méthode de fabrication de l'acier est la suivante. Le fer doux est battu en fines plaques ou en écailles larges d'un doigt et longues d'environ 4 cm. On serre ces plaques entre des feuilles de fer doux et on les presse fortement sous des morceaux de fonte qu'on empile dessus. L'ensemble est couvert de boue ou d'argile. De grandes souffleries à pistons sont ensuite mises en action et, lorsque le feu a atteint une chaleur suffisante, la fonte arrive la première à sa transformation (fond) et s'écoule dans le fer. Quand les deux sont unis l'un à l'autre, ils sont sortis et forgés. Ils sont ensuite réchauffés et martelés. »

Récemment, des expériences ont été faites à l'aciérie de Corby, au Royaume-Uni, afin de reproduire les anciennes méthodes chinoises de fabrication de l'acier. Les résultats furent très bons : l'acier obtenu était très uniforme, le carbone de la fonte s'était répandu partout pour donner un mélange homogène. La température initiale était de 975 degrés centigrades, le métal avait été sorti et martelé à la main; après un réchauffage de huit heures à 900 degrés, le résultat était parfait. ■

La pompe à godets

L'une des inventions les plus utiles qui se soit répandue de Chine vers le monde entier, de sorte qu'on en oublie les origines, est la pompe à godets carrés en chaîne. Comme le montre la figure ci-contre, cette pompe consiste en une chaîne continue de godets carrés pouvant contenir de l'eau, de la terre ou du sable.

Cette pompe est capable d'élever à un niveau supérieur d'énormes quantités d'eau. L'angle optimal de pente qu'il faut donner à la chaîne à godets est de 24 degrés. La hauteur à laquelle une seule pompe peut élever l'eau dépend de la façon dont les godets sont conçus pour éviter les pertes et de la robustesse de la machine; elle est de l'ordre de 4,50 mètres.

Nous ne savons ni par qui ni quand exactement fut inventée la pompe à godets. Nous la datons du 1er siècle après J.-C., mais elle a fort bien pu exister plusieurs siècles auparavant. Le philosophe confucéen Wang Chong en signale l'existence vers 80 après J.-C. dans ses *Réflexions critiques*. Des améliorations considérables y furent apportées au cours du siècle suivant. Nous le savons par la chronique impériale de l'époque, où il est question du manque d'eau dans la capitale des Zhou et des Wei du Nord, Luoyang. D'après l'histoire, le célèbre ministre eunuque Zhang Rang (mort en 189 après J.-C.) ordonna plusieurs mesures pour Luoyang à l'ingénieur Bi Lan :

« Il demanda aussi à Bi Lan...de construire des pompes à godets et des pompes aspirantes qui furent placées à l'ouest du pont situé en face de la Porte de la Paix pour asperger d'eau les rues nord-sud de la ville, réalisant ainsi des économies pour le petit peuple (en arrosant ces rues et en amenant l'eau à leurs habitants)... »

Les pompes à godets avaient atteint leur forme définitive en Chine en 828. L'histoire impériale indique pour cette année-là :

« Dans la deuxième année du règne de Taihe (Wenzong), dans le deuxième mois... un modèle de pompe à godets fut adopté par le palais, et les habitants de Jingzhao Fu reçurent de l'Empereur l'ordre de fabriquer un grand nombre de ces machines, pour assurer l'irrigation à partir du canal de Zheng Bai. »

Les pompes étaient utilisées pour les travaux publics et le drainage, ainsi que pour l'irrigation et la distribution d'eau potable. Les résultats de ces pompes étaient si spectaculaires que des dignitaires et des ambassadeurs des pays voisins, ayant visité la Chine, les firent adopter dans leur pays. ■



Sur cette gravure chinoise du 17e siècle, deux hommes actionnent au moyen de pédales une pompe à godets servant à tirer de l'eau pour l'irrigation.

Une machine cybernétique

Au 3e siècle après J.-C. au plus tard, les Chinois possédaient déjà une « machine cybernétique » employant les principes de la rétroaction, qui pouvait servir à la navigation et était complètement opérationnelle. Ils l'appelaient un « véhicule montrant le sud », mais elle n'avait aucun rapport avec une boussole magnétique. C'était un grand chariot, haut et long de 3,30 m, large de 2,75 m, surmonté de la statue en jade d'un « immortel » — un sage qui avait acquis l'immortalité. La statue avait le bras levé et pointé devant elle, et elle faisait toujours face au sud, quels que fussent les mouvements du chariot. Même sur une route circulaire, la statue tournait sur son socle mais son doigt restait pointé dans la même direction. Comment ceci était-il possible au 3e siècle de notre ère ? Il se pourrait d'ailleurs qu'une telle machine ait été inventée quelque 1 200 ans plus tôt. Une chronique officielle de l'an 500 après J.-C. indique en effet :

« Le chariot montrant le sud fut initialement construit par le duc de Zhou (début du premier millénaire avant J.-C.) pour guider vers leur destination certains envoyés qui venaient d'une grande distance au-delà des frontières. Le pays était une plaine sans fin dans laquelle les voyageurs perdaient la direction de l'est et de l'ouest, et le duc de Zhou fit donc fabriquer ce véhicule de façon que les ambassadeurs soient capables de distinguer le nord et le sud. »

Si cette information était correcte, l'invention daterait d'environ 1030 avant J.-C. Mais Needham en doute et croit que les mots « chariot » et « véhicule » ont été ajoutés par des scribes et que ce qui est décrit n'est autre qu'un « pointeur de sud », c'est-à-dire une boussole.

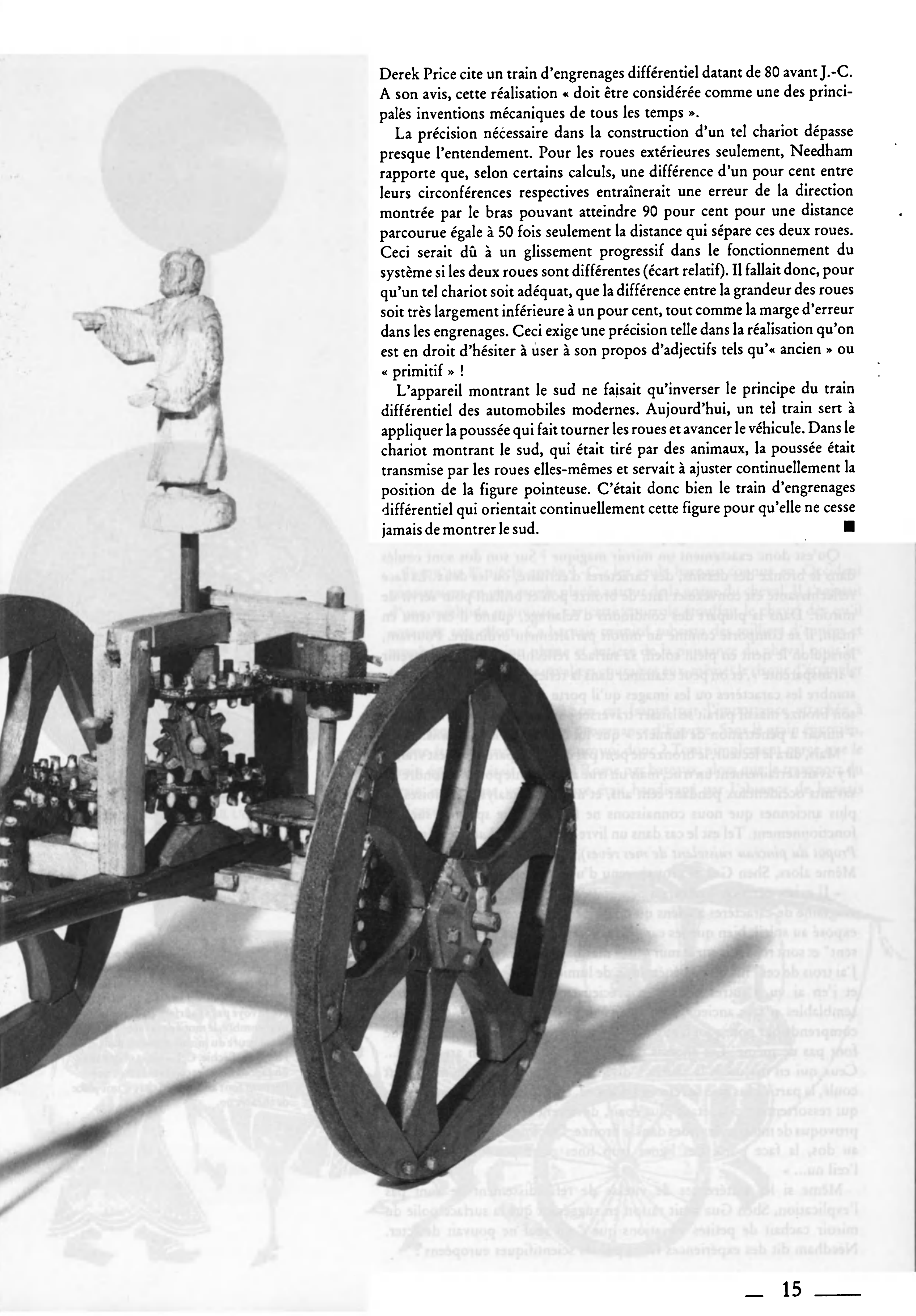
On attribue aussi la construction d'un chariot montrant le sud à l'astronome et homme de science Zhang Heng, vers 120 après J.-C., quoique là aussi Needham émette des réserves. La seule date qu'il soit prêt à accepter sans réticences est le milieu du 3e siècle après J.-C., et le constructeur (et donc l'inventeur) serait dans ce cas le fameux ingénieur Ma Jun. Le dessin d'une figure de jade pointant le doigt, extrait de la *Grande Encyclopédie* de 1601, était recopié d'un recueil datant de 1341.

Si cette machine n'employait pas de compas magnétique, comment fonctionnait-elle ? Son secret résidait dans l'emploi d'un train d'engrenages différentiel, semblable à celui des automobiles modernes. La fonction d'un train différentiel peut être expliquée comme suit. Lorsqu'un véhicule à roues effectue un virage, il faut que ses roues opposées tournent à des vitesses différentes, puisque celle qui est à l'intérieur de la courbe couvre une plus faible distance que l'autre. Pour une charrette à bras ou à chevaux, cela ne pose guère de problèmes. Mais quand il s'agit d'un véhicule qui est mû par la poussée appliquée à l'axe qui tient les roues, comment peut-on faire en sorte que, sur ce même axe, une roue tourne un peu plus vite que l'autre ? Ce n'est possible que grâce à une ingénieuse combinaison de roues dentées, appelée train différentiel ou simplement « différentiel ».

Lorsque Needham publia son volume sur les applications mécaniques en 1965, il croyait que les Chinois avaient, les premiers, inventé le différentiel pour le chariot en question. Si le duc de Zhou en avait été le créateur, vers 1000 avant J.-C., c'eût été en effet le cas; mais si nous nous en tenons à la date prudente du 2e ou du 3e siècle après J.-C., c'est aux Grecs que nous devons en attribuer le mérite. En effet, dans son livre *Gears from the Greeks* (« L'engrenage chez les Grecs ») publié en 1975, le professeur

Reconstitution d'un modèle de chariot « montrant le sud » faite d'après une description datant du 3e siècle. Grâce à un système d'engrenages perfectionné, la figurine indique toujours le sud, quelle que soit la direction dans laquelle le chariot est tiré.





Derek Price cite un train d'engrenages différentiel datant de 80 avant J.-C. A son avis, cette réalisation « doit être considérée comme une des principales inventions mécaniques de tous les temps ».

La précision nécessaire dans la construction d'un tel chariot dépasse presque l'entendement. Pour les roues extérieures seulement, Needham rapporte que, selon certains calculs, une différence d'un pour cent entre leurs circonférences respectives entraînerait une erreur de la direction montrée par le bras pouvant atteindre 90 pour cent pour une distance parcourue égale à 50 fois seulement la distance qui sépare ces deux roues. Ceci serait dû à un glissement progressif dans le fonctionnement du système si les deux roues sont différentes (écart relatif). Il fallait donc, pour qu'un tel chariot soit adéquat, que la différence entre la grandeur des roues soit très largement inférieure à un pour cent, tout comme la marge d'erreur dans les engrenages. Ceci exige une précision telle dans la réalisation qu'on est en droit d'hésiter à user à son propos d'adjectifs tels qu'« ancien » ou « primitif » !

L'appareil montrant le sud ne faisait qu'inverser le principe du train différentiel des automobiles modernes. Aujourd'hui, un tel train sert à appliquer la poussée qui fait tourner les roues et avancer le véhicule. Dans le chariot montrant le sud, qui était tiré par des animaux, la poussée était transmise par les roues elles-mêmes et servait à ajuster continuellement la position de la figure pointeuse. C'était donc bien le train d'engrenages différentiel qui orientait continuellement cette figure pour qu'elle ne cesse jamais de montrer le sud. ■

Les miroirs magiques

Ceux qui se plaisent à voir dans la Chine le pays du mystère sont bien aidés par les « miroirs magiques », qu'on peut classer parmi les objets les plus étranges au monde. On sait qu'ils remontent au moins au 5e siècle après J.-C., mais leurs origines exactes sont inconnues. Il y a environ 1200 ans, existait encore un livre intitulé *Souvenirs des anciens miroirs*, qui contenait apparemment les secrets de ces « miroirs magiques » et de leur fabrication, mais il semble qu'il soit perdu depuis plus de mille ans.

Lorsqu'on eut connaissance à l'Ouest de l'existence de ces « miroirs magiques », en 1832, des dizaines d'hommes de science éminents tentèrent de découvrir leur secret, mais en vain. Il fallut attendre cent ans pour qu'une théorie satisfaisante soit formulée à leur sujet par le spécialiste britannique de la cristallographie, William Bragg, en 1932.

Qu'est donc exactement un miroir magique ? Sur son dos sont coulés dans le bronze des dessins, des caractères d'écriture, ou les deux. La face réfléchissante est convexe et faite de bronze poli et brillant pour servir de miroir. Dans la plupart des conditions d'éclairage, quand il est tenu en main, il se comporte comme un miroir parfaitement ordinaire. Pourtant, lorsqu'on le tient en plein soleil, sa surface réfléchissante semble devenir « transparente », et on peut examiner dans la réflexion projetée sur un mur sombre les caractères ou les images qu'il porte au dos. Mystérieusement, son bronze massif paraît se laisser traverser par la lumière, d'où le nom de « miroir à pénétration de lumière » que lui donnaient les Chinois.

Mais, dira le lecteur, le bronze ne peut pas être transparent ! C'est vrai, et il y avait certainement un truc, mais un truc assez habile pour confondre les savants occidentaux pendant cent ans, et même les analyses chinoises les plus anciennes que nous connaissons ne faisaient que spéculer sur son fonctionnement. Tel est le cas dans un livre fascinant, le *Lac des Rêves* (ou *Propos du pinceau ruisselant de mes rêves*), de Shen Gua, publié en 1086. Même alors, Shen Gua le croyait venu d'une vague période archaïque :

« Il existe certains "miroirs à pénétration de lumière" qui portent une vingtaine de caractères anciens qu'on ne peut interpréter. Si ce miroir est exposé au soleil, bien que les caractères soient tous sur le dos, ils "traversent" et sont réfléchis sur le mur d'une maison, où on les lit distinctement... J'ai trois de ces "miroirs à pénétration de lumière" dans ma propre famille, et j'en ai vu d'autres conservés précieusement ailleurs, qui sont très semblables et très anciens : tous "laissent passer la lumière". Mais je ne comprends pas pourquoi d'autres miroirs, pourtant extrêmement fins, ne font pas de même. Les anciens devaient vraiment avoir un art spécial... Ceux qui en discutent la raison... disent qu'au moment où le miroir fut coulé, la partie plus fine se refroidit d'abord, alors que les signes ou dessins qui ressortent au dos, étant plus épais, devinrent froids plus tard, ce qui provoqua de minuscules rides dans le bronze. Quoique les caractères soient au dos, la face porte des lignes trop fines pour pouvoir être vues à l'œil nu... »

Même si les différences de vitesse de refroidissement ne sont pas l'explication, Shen Gua avait raison en suggérant que la surface polie du miroir cachait de petites variations que l'œil seul ne pouvait détecter. Needham dit des expériences faites par les scientifiques européens :



Ci-dessus, la face réfléchissante polie et la face postérieure ouvragée d'un « miroir magique » en bronze. Lorsqu'un faisceau lumineux est dirigé sur la face antérieure et renvoyé par sa surface polie sur un mur sombre, le motif de la face postérieure du miroir apparaît dans l'image réfléchie. Celui-ci est originaire du Japon. Les caractères *takasago* qui l'ornent font allusion au titre d'une pièce de théâtre *no*.

« Des expériences optiques minutieuses et approfondies montrèrent que la surface des "miroirs magiques" reproduisait les dessins du dos grâce à de petites inégalités dans la courbure, les parties épaisses étant un peu plus plates que les fines, et devenant même parfois concaves. »

A l'origine, le miroir, avec son dessin au dos, était coulé à plat, et la convexité de sa surface était obtenue ensuite en le raclant et en le grattant. On polissait alors la surface pour la rendre brillante. Les tensions provoquées par ces traitements faisaient que les parties plus fines de la surface saillaient vers l'extérieur et devenaient plus convexes que les parties plus épaisses. Finalement, on étendait un amalgame de mercure sur la surface, ce qui provoquait de nouvelles tensions et renforçait les renflements. Par conséquent, les imperfections de la surface du miroir correspondaient aux dessins du dos, bien qu'étant trop petites pour être vues à l'œil nu. Quand le miroir réfléchissait la lumière brillante du soleil sur un mur, l'image agrandie reproduisait les dessins, *comme si* ceux-ci passaient à travers le bronze sous forme de rayons lumineux. William Bragg, après sa découverte de 1932, affirma : « Seul l'effet d'agrandissement dû à la réflexion les rend visibles ». Pour Needham, ces miroirs sont un « premier pas sur le chemin de la connaissance de la structure fine des surfaces métalliques ». ■

Le harnais

Jusqu'au 8e siècle après J.-C., les seuls harnais connus en Occident consistaient en une sangle placée autour de la gorge du cheval. Il s'agissait d'une méthode mauvaise, car cette courroie étouffait le cheval dès qu'il entamait son effort. Ce harnais primitif subsista des milliers d'années et empêcha l'utilisation pleine et entière de la puissance du cheval pour les transports routiers. Les cavaliers couraient eux-mêmes le risque d'étrangler leur monture au galop.

Dans l'histoire romaine, on est frappé par l'importance attachée à l'embarquement de grain en provenance d'Egypte. Sans le grain égyptien, Rome était affamée. Mais pourquoi donc ? Tout simplement parce que le grain égyptien était ramené à Rome par bateaux, alors que le transport du grain italien par voie de terre était handicapé par l'absence de harnais efficace.



Cet estampage de la dynastie des Han (1er siècle avant J.-C.) montre l'utilisation du harnais à traits, avec la lanière autour du poitrail. Une sorte de parapluie avant la lettre protège les passagers du chariot de la pluie et du soleil.

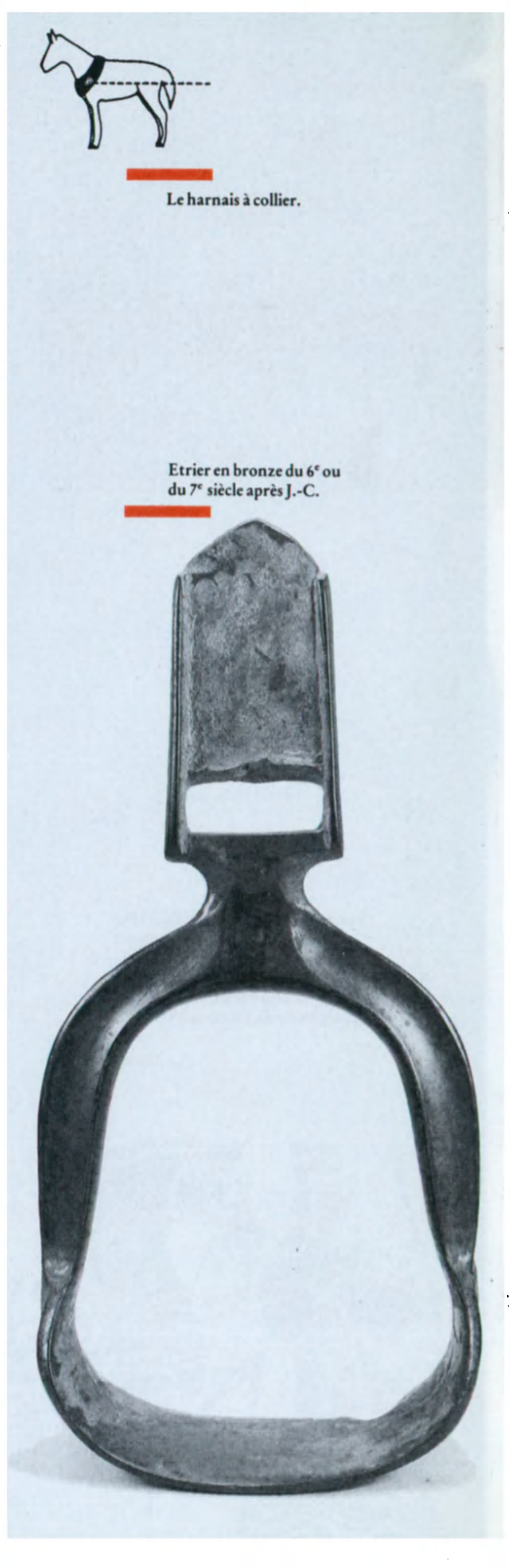
Aux alentours du 4ᵉ siècle avant J.-C., les Chinois firent une grande découverte. Un coffre laqué de l'époque porte une peinture qui montre un joug placé autour de la poitrine du cheval dont partaient des traits le reliant aux brancards d'un chariot. Bien que ne constituant pas un harnais entièrement satisfaisant, il montrait l'abandon du harnais primitif, serré autour de la gorge du cheval. Bientôt, ce joug rigide fut remplacé par une lanière passée autour du poitrail, appelée communément « harnais à traits ». Il n'y a plus de courroie autour de la gorge du cheval, la charge est tirée entièrement par la poitrine et les clavicules.

Des expériences ont été menées afin de comparer l'efficacité respective des différents types de harnais. Deux chevaux munis de harnais primitifs peuvent tirer une charge d'une demi-tonne. Par contre, un seul cheval avec un harnais à collier peut aisément tirer une tonne et demie. Le harnais à traits, quant à lui, semble presque égaler ce dernier.

Needham suggère que deux facteurs ont pu amener les Chinois à inventer le harnais à traits. Tout d'abord, il y avait la motivation des Chinois, Mongols et Huns qui, vivant au bord du désert de Gobi, s'enlisaient sans cesse dans les sables, d'où les chevaux attelés à l'aide de harnais primitifs ne pouvaient les dégager. Ensuite, il y eut l'expérience des haleurs, par exemple pour la remontée des bateaux le long des canaux, qui se sont vite avisés de l'inefficience du système de la corde passée autour du cou.

Le harnais le plus efficace est le harnais à collier (voir dessin). La première trace du harnais à collier en Chine nous est offerte par un estampage montrant trois chevaux tirant un chariot. Il date d'une époque située entre le 4ᵉ et le 1ᵉʳ siècle avant J.-C. De ce fait, si l'on considère l'invention du harnais à collier comme datant du 1ᵉʳ siècle avant J.-C., elle se situe mille ans avant l'apparition de celui-ci en Europe, un siècle après le harnais à traits.

Par la suite, les Chinois découvrirent un autre emploi, plus simple, du collier : des traits pouvaient être attachés sur les côtés d'un collier et de là directement au véhicule. C'est cette forme de harnais à collier qui est utilisée actuellement dans le monde entier. ■



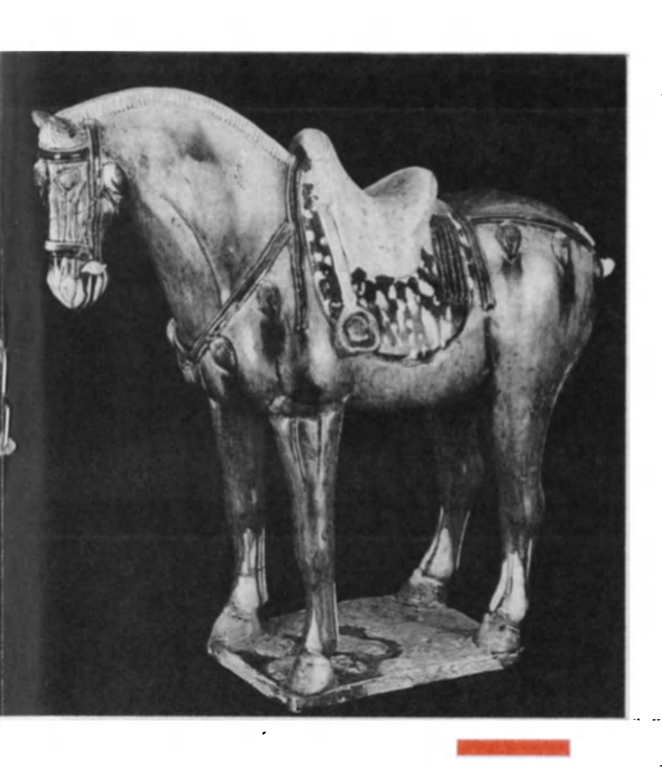
Le harnais à collier.

Etrier en bronze du 6ᵉ ou du 7ᵉ siècle après J.-C.

L'étrier

Pendant la plus grande partie du temps où il se servit du cheval comme monture, l'homme l'a fait sans avoir de support pour les pieds. Les étriers étaient inconnus des grandes armées de l'Antiquité. Les Perses et les Mèdes s'en passèrent, mais aussi les Romains, les Assyriens, les Egyptiens, les Babyloniens, les Grecs. Les cavaliers d'Alexandre le Grand traversèrent toute l'Asie centrale sans pouvoir reposer leurs pieds lorsqu'ils étaient en selle. Lorsqu'il galopait ou sautait un obstacle, le cavalier devait se tenir à la crinière du cheval pour éviter de tomber. Les Romains avaient ménagé une sorte de poignée sur le devant de la selle, à laquelle ils s'agrippaient quand le train devenait rude, mais leurs jambes se balançaient de part et d'autre du cheval s'ils ne faisaient pas l'effort de les serrer étroitement contre ses flancs.

Monter à cheval sans étriers n'est pas une petite affaire. Les guerriers intrépides étaient fiers de bondir en selle sans aide, en s'agrippant à la crinière de leur cheval, comme le font encore aujourd'hui quelques cavaliers qui montent à cru. Les cavaliers des temps anciens prenaient appui sur leur lance pour se hisser, un peu comme on saute à la perche, ou bien en se servant d'une cheville fixée sur la lance comme d'un marche-pied. Dans les autres cas, il fallait avoir recours à un valet qui faisait la courte échelle.



Porcelaine de l'époque Tang (618-907 après J.-C.) représentant un cheval sellé et bridé.



Mors en bronze chinois du 5e siècle avant J.-C.

Vers le 3e siècle après J.-C., les Chinois avaient déjà remédié à la situation. Forts de leur métallurgie avancée, ils avaient commencé à produire des étriers de fer et de bronze. On ne connaît pas l'inventeur de l'étrier. L'idée a dû surgir de l'usage occasionnel d'une boucle de cuir ou de corde pour monter en selle. On ne pouvait pas, c'est bien évident, garder le pied dans une telle boucle une fois monté : c'eût été trop dangereux en cas de chute. Une pareille boucle de cuir a pu être utilisée d'abord par les Chinois, par les Indiens ou par les nomades d'Asie centrale aux frontières de la Chine. La première version de l'étrier est donc à rechercher dans la steppe. Il est le produit du génie d'hommes vivant à cheval. A partir du 3e siècle, les Chinois fondent de véritables étriers de métal. C'est sur une poterie de l'an 302 après J.-C., représentant un guerrier à cheval, que l'on voit le premier étrier. Cette poterie fut trouvée dans une tombe à Changsha (Hunan).

Les étriers furent transmis à l'Occident par l'intermédiaire d'une tribu farouche, les Ruan-ruan, mieux connus sous le nom d'Avars. La cavalerie avar était d'un efficacité dévastatrice : l'emploi d'étriers en métal coulé devait y être pour quelque chose. Vers le milieu du 6e siècle, leur migration les conduisit à l'Ouest. Ils traversèrent le sud de la Russie pour finir par s'installer entre le Danube et la Tisza (en Hongrie). Vers 560, les Avars constituant une menace sérieuse pour l'Empire byzantin, la cavalerie byzantine fut entièrement réorganisée en vue de les contenir. En 580, le futur empereur Maurice (Flavius Mauricius Tiberius) rédigea un manuel militaire, le *Stratégicon*, où il précise les techniques de cavalerie à adopter. Il y est fait mention — pour la première fois en Occident — de la nécessité d'utiliser des étriers en fer.

Les Vikings et peut-être les Lombards, ont répandu l'étrier dans toute l'Europe. Un étrier d'enfant, de type avar, a été exhumé à Londres, où il avait dû être apporté par un Viking. En Europe, l'usage des étriers fut longtemps retardé pour des raisons restées obscures. Les armées conventionnelles ne semblent pas les avoir adoptés avant le 11e siècle. L'absence d'une métallurgie avancée à pu en être la cause. Pendant longtemps encore, les étriers seront faits plutôt de fer forgé que de métal coulé, alors qu'une production massive n'est envisageable qu'en métal fondu. ■

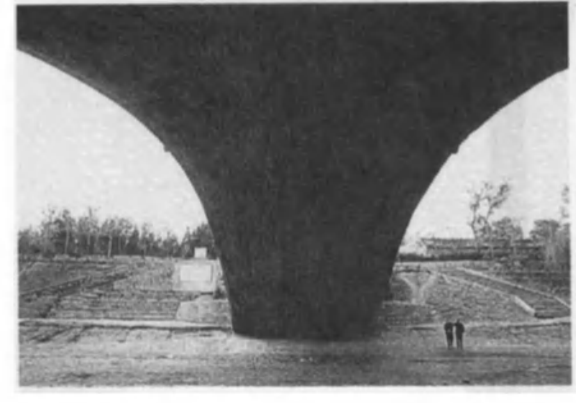
Le pont à arc surbaissé

Une évolution brutale des conceptions, une percée, se produisit le jour où un ingénieur chinois comprit qu'une arche ne devait pas nécessairement être un demi-cercle et que l'arche traditionnelle, semi-circulaire, qui servait pour la construction des ponts pouvait être remplacée par ce qu'on appelle une arche surbaissée. Celle-ci fait penser à une énorme circonférence enfouie dans le sol, dont la partie supérieure émerge seule. Cette partie est un segment de circonférence. Les ponts ainsi construits nécessitent moins de matériaux et sont plus solides que ceux en arche semi-circulaire.

Ce progrès fut acquis en Chine au 7e siècle après J.-C. Il était dû à Li Chun, fondateur de toute une école dans la conception des constructions, dont l'influence se prolongea pendant des siècles. Par chance, son premier grand pont, construit en 610, est toujours intact et en service. Appelé le Grand pont de pierre, il enjambe la rivière Jiao près de Zhaoxian, au pied des monts du Shanxi, à la limite de la grande plaine du nord de la Chine.

Quatre petites arches furent incorporées dans la structure même du pont. Ce furent les premiers écoinçons arqués, une innovation d'un grand effet sur la construction des ponts. Li Chun comprit qu'en perçant de tels trous aux extrémités du pont, il obtenait plusieurs résultats à la fois : les

Le grand pont de pierre de la rivière Jiao. Construit en 610 après J.-C. et restauré au 20e siècle, il est toujours en service. Des agrafes en fer, avec le mortier, maintiennent les blocs de pierre.



eaux en crues pouvaient y passer, ce qui réduisait le risque de voir le pont lui-même être arraché de ses supports par le flot; son poids total était réduit et le pont avait donc moins tendance à se déformer sous l'effet d'un enfoncement de ses culées sur les rives; les grandes quantités de matériaux qui seraient entrées dans les extrémités pleines pouvaient être économisées.

Le Grand pont de pierre a une portée de 37,50 m. Celle du plus long pont romain qui existe encore, le pont Saint-Martin près d'Aoste (Italie), est de 35,50 m. Mais en moyenne les ponts romains à arche en demi-cercle avaient des portées de 18 à 25 m, et d'environ 6 m pour les arches des aqueducs.

Le plus grand pont à arches subaissées de Chine est le fameux Pont Marco Polo, ainsi appelé parce que Marco Polo en fit une longue description. Situé juste à l'ouest de Beijing, il franchit la rivière Yongding dans la petite ville de Lugougiao (*giao* : « pont »), et il est long de 213 m. Il est constitué de onze arches surbaissées qui se font suite au-dessus de la rivière, chacune ayant une portée moyenne de 19 m. Sa construction remonte à 1189 et un gros trafic de camions et d'autobus y circule toujours ! Marco Polo parlait de ce pont comme du « plus élégant du monde ». ■

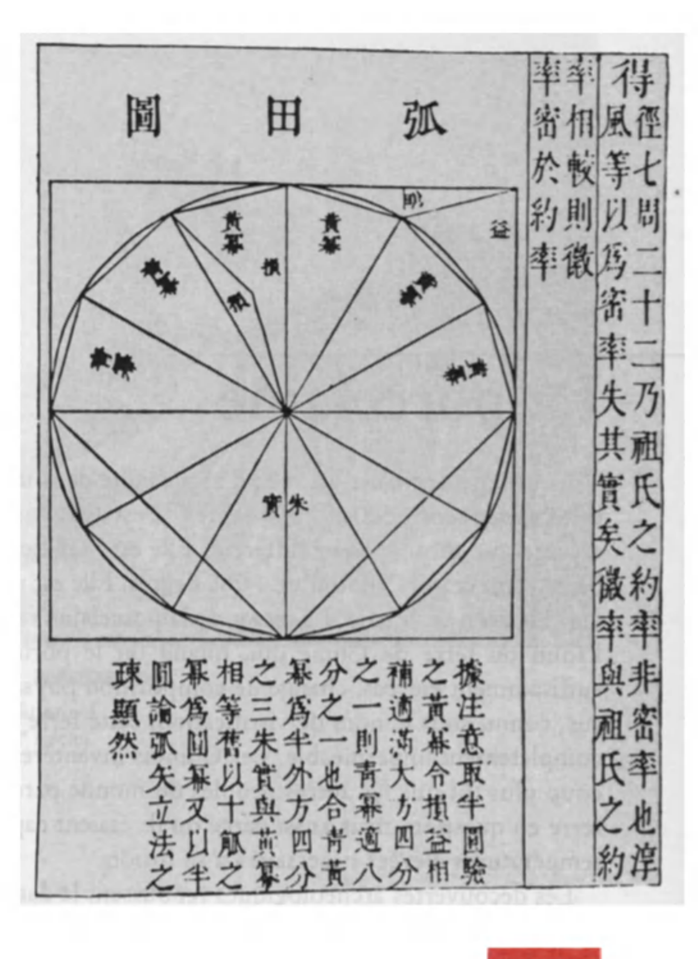
Une valeur précise de *pi*

La valeur exacte du nombre irrationnel *pi* ne pourrait s'écrire qu'avec un nombre infini de décimales. Il représente le rapport de la circonférence d'un cercle à son diamètre et ne peut être exprimé par des nombres entiers. Il intervient dans le calcul de la surface du cercle ou du volume de la sphère. Archimède le calcula jusqu'à la troisième décimale et Ptolémée jusqu'à la quatrième. En Occident, on en resta à cette approximation pendant 1450 ans, contrairement aux Chinois qui précisèrent mieux la valeur de *pi*.

La méthode employée par les mathématiciens anciens pour obtenir une valeur de *pi* aussi exacte que possible consistait à inscrire dans des cercles des polygones réguliers ayant de plus en plus de côtés (voir figure ci-contre) pour que leur surface, qu'ils pouvaient calculer, se rapproche de plus en plus de celle du cercle. La formule donnant cette dernière contenait *pi*, qui restait donc la seule grandeur inconnue et pouvait être calculé. Archimède se servit dans ce but d'un polygone à 96 côtés, et il en déduisit que la valeur de *pi* se situait entre 3,140 et 3,142.

Les Chinois procédèrent de la même façon pour rechercher une valeur de plus en plus précise de *pi*. Au 3[e] siècle après J.-C., Liu Hui commença par inscrire dans un cercle un polygone de 192 côtés, pour en arriver à un polygone de 3 072 côtés qui se rapprochait d'encore plus près de la circonférence. Ceci lui permit de calculer pour *pi* une valeur de 3,14159 : les Chinois avaient ainsi dépassé les Grecs.

Mais le grand bond en avant fut réalisé au 5[e] siècle après J.-C., époque à laquelle des estimations vraiment précises pour *pi* virent le jour en Chine. Le mathématicien Zu Chongzhi et son fils Zu Gengzhi, à l'aide de méthodes de calcul qui ont malheureusement été perdues, obtinrent une valeur de *pi* « précise » jusqu'à la dixième décimale, à savoir 3,1415929203. On sait que le cercle qu'ils employèrent pour y inscrire leurs polygones avait 10 pieds de diamètre. Cette valeur de *pi* se retrouve dans des comptes rendus historiques de la période en question, mais les ouvrages de ces mathématiciens ont disparu au cours des siècles. Neuf cents ans plus tard, vers 1300, le mathématicien Zhao Yugin décida de vérifier cette valeur de *pi*. A cette fin, il inscrivit dans un cercle un polygone comptant le nombre, énorme, de 16 384 côtés. ■



Dessin expliquant la méthode d'approximations successives employée par le mathématicien chinois Liu Hui en 264 après J.-C. pour trouver la valeur du nombre irrationnel *pi*.

Le système décimal

Le système décimal, si fondamental pour la science moderne, a ses origines en Chine. On en trouve la trace dès le 14[e] siècle avant J.-C., à la période archaïque de la dynastie Shang, mais il était en usage bien avant cela. On a un exemple de l'emploi qu'en faisaient les anciens Chinois dans une inscription datant du 13[e] siècle avant J.-C., où « 547 jours » s'écrit « cinq centaines plus quatre décades plus sept jours ».

Pour calculer, les Chinois employaient des bâtonnets rangés sur des panneaux de comptage. Pour « écrire » dix, un seul bâtonnet était placé dans la deuxième case à partir de la droite et la première, qui correspondait au zéro, restait vide. On passait de dix à onze en ajoutant un bâtonnet dans la première case, et on « écrivait » le nombre 111 en plaçant un bâtonnet dans chacune des trois premières cases. Dès les temps les plus reculés, il semble donc que la base de la représentation des nombres ait été un système de *placement* : les bâtonnets de comptage étaient *placés* dans des cases.

Le fait que les Chinois disposaient d'un système décimal dès le début des mathématiques explique la plupart des progrès qu'on pourra leur attribuer plus tard. ■

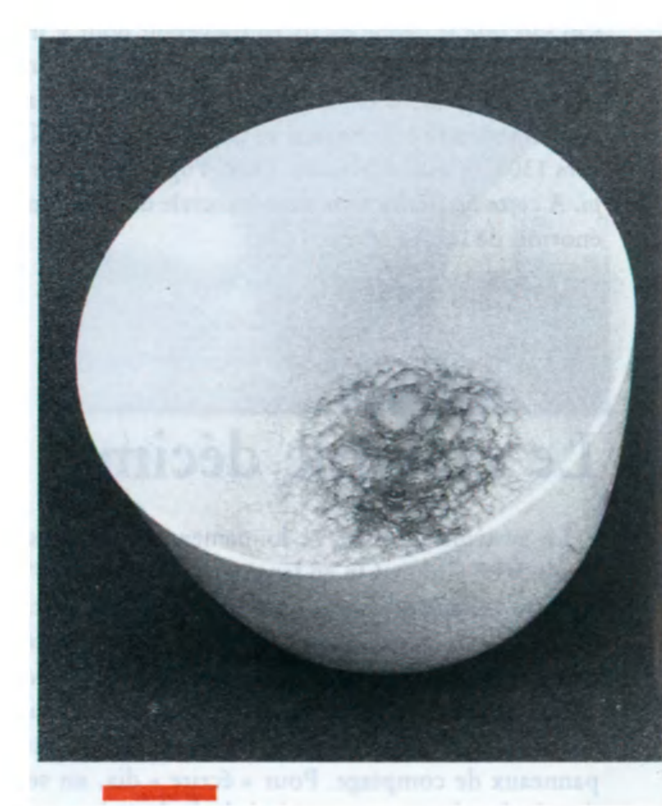
Ce plat de style *yue* à l'émail vert pâle est l'une des plus anciennes porcelaines connues (3[e] siècle).

La porcelaine

La poterie ordinaire est faite d'argile cuite dans un four à des températures variant entre 500 et 1 500 degrés. C'est de la terre cuite. La porcelaine est quelque chose d'assez différent. Elle est faite de terre vitrifiée, cuite à haute température, autour de 1 280 degrés. Elle est recouverte d'un émail, cuit lui aussi et vitrifié. Le secret de la porcelaine réside dans l'emploi du kaolin ou terre de Chine qui, quand on le porte à des températures suffisamment élevées, change de composition physique. Dans ce processus, connu sous le nom de vitrification, cette terre devient translucide et complètement imperméable. Les Chinois inventèrent la porcelaine beaucoup plus tôt que les autres peuples du monde parce qu'ils trouvèrent la terre en question, mais aussi parce qu'ils étaient capables de produire les températures élevées nécessaires à sa fusion.

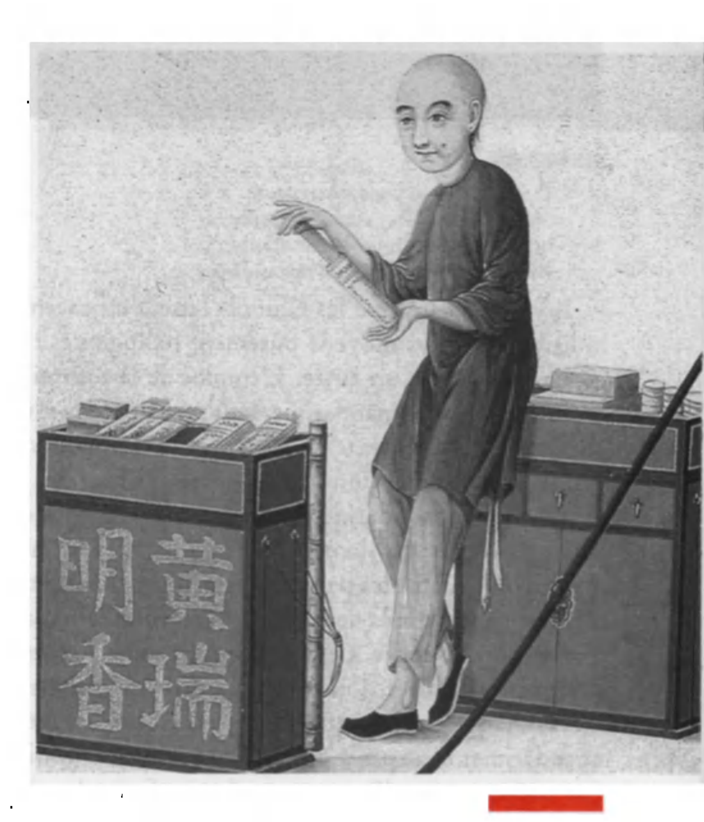
Les découvertes archéologiques repoussent la date de l'apparition de la vraie porcelaine au 1[er] siècle après J.-C. Au 3[e] siècle, en tout cas, son usage est indéniable. Avec la dynastie Song (960 à 1279), la porcelaine atteignit un degré extrême de raffinement technique et de qualité artistique. La fabrication de la porcelaine en ce temps-là, parfaitement organisée, employait des centaines de milliers de personnes hautement qualifiées. Elle comportait des équipes spécialisées dans le lavage de la terre; d'autre s'occupaient uniquement des émaux; d'autres encore maintenaient les fours à température constante et ainsi de suite. Un four de cette époque avait été creusé de façon à pouvoir accueillir 25 000 pièces de porcelaine en une seule fournée. Il était construit sur la pente d'une colline, pour que l'inclinaison légère, d'environ 15 degrés, réduise la vitesse des flammes traversant le four. Le contrôle du processus de cuisson atteignait une très grande précision. Pendant la dynastie Ming (1368 à 1644), quand les fameuses pièces bleues et blanches étaient produites à grande échelle, la plus belle qualité de pigment bleu de cobalt ne pouvait s'obtenir qu'à certaines températures spécifiques et à flammes non oxydantes (flammes réduites).

Les secrets de fabrication de la porcelaine furent jalousement gardés. Les visiteurs européens, comme Marco Polo, ne purent que s'émerveiller et se poser des questions. Les objets en porcelaine restèrent d'une grande rareté dans l'Europe du 15[e] siècle. C'étaient des dons princiers. Le premier échantillon de kaolin, envoyé par des Portugais, atteignit l'Europe en 1520. Mais le kaolin n'est pas le seul secret de la technique et les Européens allaient s'en apercevoir. Les innombrables essais portant sur les différentes terres et substances solides mises au four eurent un résultat imprévu. Hommes de science et artisans commencèrent à observer qu'en refroidissant, les minéraux en fusion pouvaient se vitrifier. Au milieu du 18[e] siècle, l'idée commença à germer en Europe que les roches de la terre avaient pu avoir pour origine des masses de lave en fusion qui s'étaient ensuite refroidies. En 1785, le géologue James Hutton présentait une nouvelle et révolutionnaire théorie fondée sur cette idée. Ainsi, un grand progrès scientifique peut être indirectement attribué à tous ces efforts destinés à percer le secret de fabrication de la porcelaine. ■



Gobelet en porcelaine blanche dont l'épaisse couverte est finement craquelée. Il date de l'époque Tang (618-907 après J.-C.).

Four à porcelaine de type traditionnel (peinture de la fin du 18e siècle).



Cette peinture de la fin du 18e siècle représente un jeune garçon vendant des bâtons d'encens et des allumettes.

Les allumettes

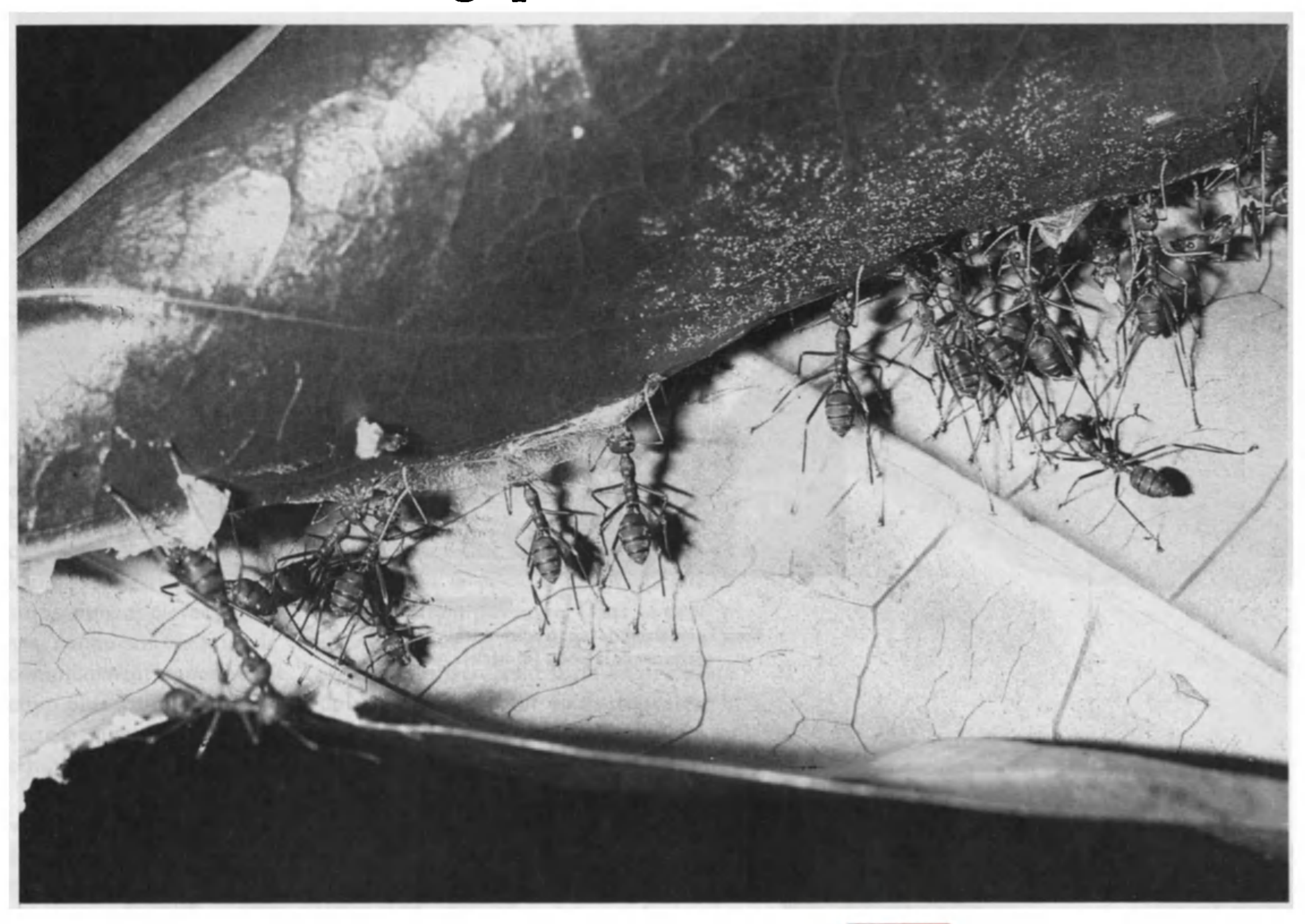
La première version de l'allumette fut inventée en 577 par des dames de la cour, pendant un siège militaire qui se passait dans l'éphémère royaume de Qi du Nord (550 à 577). Pressées par les difficultés du siège, ces dames infortunées devaient être à court de mèches et d'amadou. Elles trouvèrent ce moyen pour allumer du feu afin de cuisiner et se chauffer.

Les premières allumettes étaient faites avec du soufre. Elles sont ainsi décrites dans les *Témoignages de l'étrange et du surnaturel* de Tao Gu (vers 950) :

« Si un incident survient de nuit, il faut un certain temps pour allumer une lampe. Un homme ingénieux simplifia la chose en imprégnant de petits morceaux de bois de pin de soufre et en les conservant prêts à l'usage. Ils s'enflammaient par simple frottement. On obtenait une petite flamme de la taille d'un épi de blé. Cette chose merveilleuse était appelée "esclave porte-lumière". Mais quand elle devint un article de commerce courant, on l'appela tout simplement "bâtonnet à feu d'un pouce". »

On ne trouve pas trace des allumettes en Europe avant 1530. Pourtant, elles auraient pu être facilement rapportées en Europe par un voyageur du temps de Marco Polo, puisque nous savons qu'elles étaient déjà vendues au marché de Hangzou vers 1270. ■

Le contrôle biologique des insectes



Fourmis carnivores, utilisées par les Chinois depuis des siècles pour combattre les parasites du mandarinier.

Il y a 1700 ans que les Chinois luttent efficacement contre les insectes nuisibles par des moyens purement biologiques : ils utilisent un insecte pour en détruire un autre. L'emploi de la fourmi tueuse des citronniers pour protéger les mandariniers est sans doute la plus évidente réussite des Chinois. Dans un texte de 304 après J.-C., *Plantes et arbres du sud*, nous trouvons la description de l'usage de ces fourmis jaunes carnivores :

« L'orange mandarine est exceptionnellement douce et d'un goût délicat... Les gens de Jiaoshi (le Tonkin) vendent au marché des fourmis (carnivores) dans des paniers tressés. Les nids sont comme de la soie. Les paniers sont tapissés de feuilles et de brindilles et, avec les fourmis dans le nid, ils sont à vendre. Les fourmis sont jaune-rouges et plus grandes que les fourmis ordinaires. Les fourmis jaunes ne mangent pas les oranges mais elles attaquent et tuent les insectes qui le font. Dans le Sud, si un mandarinier n'est pas muni de cette sorte de fourmis, les fruits sont abîmés par toutes sortes d'insectes et plus un fruit n'est intact. »

Cette forme de lutte biologique contre les insectes nuisibles attira l'attention des Occidentaux pour la première fois à l'occasion de la publication d'un article sur ce sujet dans le *North China Herald* du 4 avril 1882. Mais ce fut seulement après une grave épidémie de chancre, qui dévasta les plantations d'agrumes de Floride vers 1910, qu'un botaniste fut envoyé en Chine par le Département de l'agriculture des Etats-Unis; il découvrit les fourmis jaunes. En 1958, un scientifique chinois, Chen Shoujian, recommandait une nouvelle étude des fourmis. On les emploie toujours dans les orangeraies chinoises. ■

Le pétrole et le gaz naturel

La Chine a utilisé le pétrole et le gaz naturel comme combustibles et comme sources d'éclairage dès le 4e siècle avant J.-C. Tout commença avec des forages destinés à extraire l'eau salée du sol. Les dépôts de gaz méthane se manifestant sous la saumure, certains forages, destinés à l'origine à produire de l'eau salée, ne donnaient que du gaz et les Chinois les nommaient « puits à feu ». Dès le 1er siècle avant J.-C., ces forages étaient devenus systématiques et d'importantes sources de gaz naturel avaient été mises à jour. Ces forages s'enfonçaient déjà dans le sol à plus de 30 m. Au 2e siècle après J.-C., on fora en profondeur pour rechercher le gaz naturel pour lui-même.

En 347, Chang Qu note dans sa *Description des pays au sud du mont Hira* :

« Au point où la rivière venant de Bepu rejoint le Huojing, il y a un "puits à feu". La nuit, sa lueur se reflète dans le ciel tout entier. Les habitants de l'endroit allument le gaz qui sort des orifices avec des brandons pris aux foyers des maisons. Peu après, on entend un grondement de tonnerre et les flammes se font si brillantes qu'elles éclairent la contrée alentour à quelques douzaines de *li.* Il utilisent des tubes de bambou pour "contenir la lumière", pour la conserver et la transporter d'un endroit à l'autre. On peut faire un voyage d'un jour sans que le feu soit éteint. Il brûle brillamment et ne laisse aucune cendre. »

Les oléoducs de bambou transportaient en fait la saumure et le gaz sur des kilomètres, passant sous les routes et par-dessus les ponts.

L'emploi du gaz naturel pour l'éclairage et comme combustible posait des problèmes que les anciens Chinois résolurent avec succès. Les anciens textes décrivent dans le détail les multiples précautions adoptées pour arriver à contrôler la combustion du gaz. Le gaz issu des « puits à feu » alimentait pour commencer un réservoir, vaste chambre de bois située à près de 3 m au-dessous du niveau du sol et en forme de baril conique. Un tuyau alimentait cette chambre en air. Celle-ci agissait dès lors comme un vaste carburateur, alimentant une rangée de tuyaux conduisant eux-mêmes à d'autres petites chambres coniques en surface. Ces dernière pouvaient, elles aussi, être aérées au moyen d'un ensemble de prises d'air qu'on ouvrait et fermait à volonté. De cette façon, il était possible de régler à tout moment la proportion entre l'air et le combustible. Si la pression du mélange devenait trop faible, on pouvait craindre de dangereux retours de flammes et des explosions. Avec un mélange trop riche, un incendie risquait d'éclater, aussi laissait-on s'échapper l'excédent de gaz à l'aide d'un système d'évacuation appelé « tuyau repoussant le ciel ».

Des flammes de 40 à 50 cm à l'orifice des différents conduits étaient chose courante. On les utilisait pour chauffer les cuves d'évaporation de la saumure. Les cuves de fonte étaient gigantesques et pesaient près d'une demi-tonne. Le gaz naturel extrait de puits peu profonds chauffait aisément entre 10 et 40 cuves. Mais des puits d'une profondeur moyenne de 1 000 m desservaient 600 à 700 brûleurs.

Les flammes inférieures à 50 cm servaient à d'autres usages, comme l'éclairage de certaines villes du Sichuan. Dans ces villes privilégiées, on pouvait également disposer de gaz pour le chauffage, mais les détails nous manquent sur son emploi. Il n'y avait sans doute pas de véritables fourneaux à gaz, mais on devait pouvoir cuisiner et obtenir de l'eau bouillante.

Il y avait aussi des produits pétroliers, souvent appelés « laque de pierre » parce qu'ils ressemblaient à du laque suintant des pierres. Il semblent avoir été réservés à de modestes applications, telles les lampes à huile et les torches, mais ils furent utilisés également pour briser les roches par le feu. De plus, le pétrole brûle dans l'eau; au cours de travaux portuaires, on brisa de gros rochers après les avoir arrosés de pétrole. ■

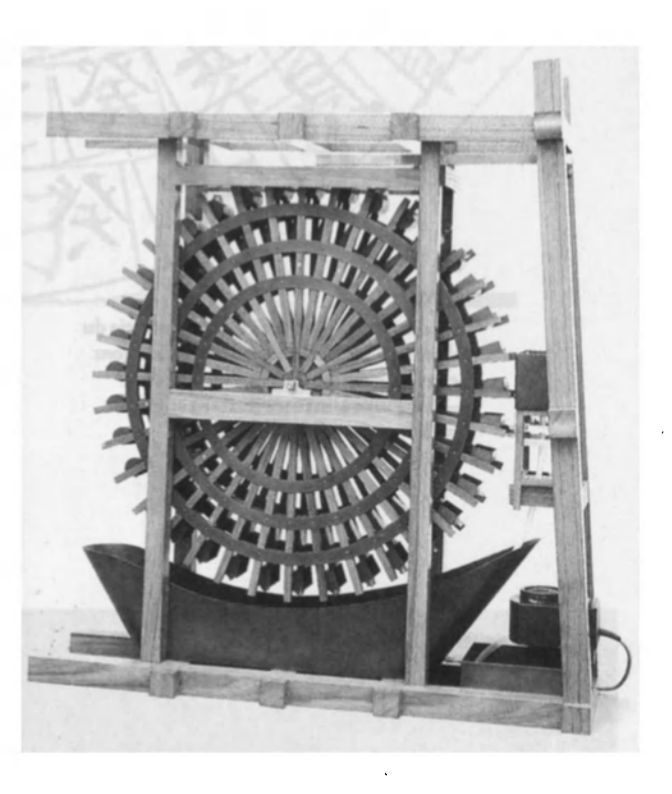


Superstructure d'un puits dans la province du Sichuan. Au premier plan, les traditionnels oléoducs de bambou qui conduisaient le gaz naturel vers la ville.

Les horloges mécaniques



Maquette de la grande horloge astronomique de Su Song (1092). La charpente découverte laisse voir le mécanisme : la tour, qui mesurait 10 m de haut, abritait en son sommet une sphère armillaire pour l'observation des étoiles. A l'intérieur de la tour, le globe céleste (B) tournait en synchronisation avec la sphère. L'élément central est la roue à godets (D, détail ci-dessous), que l'eau ou le mercure s'écoulant du réservoir, à droite, faisaient tourner dans le sens des aiguilles d'une montre.



Les Chinois n'ont pas inventé la première de toutes les horloges, seulement la première horloge mécanique. Des horloges à eau existaient depuis longtemps à Babylone, et les anciens Chinois les reçurent indirectement de cette civilisation de l'Antiquité proche-orientale, au même titre que les rudiments de l'astronomie.

La première horloge mécanique fut construite par le moine bouddhiste tantrique et mathématicien Yixing (683 à 727). C'était davantage un instrument astronomique servant aussi d'horloge qu'un simple compte-temps. Un texte contemporain le décrit ainsi :

« Il était rond, à l'image du Ciel, et on y montrait les maisons lunaires dans leur ordre, l'Equateur et les degrés de la ciconférence du Ciel. L'eau, coulant dans des godets, faisait tourner la roue automatiquement. Cette roue effectuait un tour complet en un jour et une nuit (24 heures). Auprès de cette roue, il y avait deux bagues, ajustées à l'extérieur de la sphère céleste, portant le Soleil et la Lune. Ces astres avançaient ainsi doucement sur leurs orbites... Ils avaient construit un caisson en bois dont la surface représentait l'horizon et qui contenait la moitié inférieure de l'instrument. Ce dispositif permettait le relevé exact du moment des aubes et des crépuscules, des pleines et des nouvelles lunes, des ralentissements et des accélérations des corps célestes. Deux petits bâtons, placés à la surface représentant l'horizon, frappaient l'un sur une cloche, l'autre sur un tambour. Tous ces mouvements étaient animés par la machinerie, placée dans le caisson, au moyen de roues et de barres, de crémaillères, de chevilles et de baguettes enclencheuses, de dispositifs d'arrêt et de verrouillage se contrôlant mutuellement... »

L'horloge de Yixing était, comme toutes les horloges à eau, soumise aux vicissitudes du froid. Pour empêcher l'eau de geler, on brûlait des torches à proximité. C'est pourquoi on lui substitua le mercure, qui ne gèle pas aux températures terrestres, dans la grande horloge suivante. Celle-ci fut construite par Zhang Sixun en 976 après J.-C. L'horloge de Zhang Sixun était beaucoup plus grande que celle de Yixing. Elle était aussi beaucoup plus compliquée. Les annales dynastiques de l'époque la décrivent ainsi :

« Une tour de trois étages, chacun de plus de 3 m de hauteur, contenait la machinerie. Elle était ronde au sommet pour symboliser les Cieux et carrée au-dessous pour symboliser la Terre. En bas étaient la charpente, la roue basse et son axe. Il y avait aussi des roues horizontales, avec des roues verticales fixées sur leurs côtés, et même des rouages obliques portant un dispositif central d'arrêt et s'y fixant, ainsi qu'un plus petit système de contrôle (de l'échappement) avec un grand axe de transmisssion. Sept tringles sonnaient les cloches à gauche, frappaient une grande cloche à droite et battaient le tambour au centre pour indiquer les quarts d'heure. La machine effectuait une révolution complète en 24 heures et les sept luminaires (planètes) suivaient leur course le long de l'écliptique. Les heures étaient indiquées par douze panneaux montés sur douze tringles apparaissant de deux en deux heures... »

La construction de la plus grande horloge de la Chine ancienne vint couronner ces efforts. La « Machine cosmique » de Su Song fut construite en 1092 : cette horloge astronomique avait 10 m de haut, comme celle de Zhang Sixun. Elle était surmontée d'une sphère armillaire, d'où l'on pouvait observer la position des étoiles. Le globe céleste à l'intérieur de la tour était synchronisé avec la sphère armillaire. On nous dit que les observations du ciel « réel » coïncidaient parfaitement avec les données de la machine.

Une pagode de cinq étages faisait face à la tour. Des personnages, des jaquemarts, sortaient par les portes de la pagode, sonnaient les cloches, frappaient des gongs. Ils portaient des inscriptions indiquant les heures. La machinerie de la tour animait simultanément tous les indicateurs de temps. La roue à godets était de celles déjà décrites.

La connaissance de ses principes atteignit l'Europe et y conduisit au développement des horloges mécaniques quelque deux siècles plus tard. ■

Le papier-monnaie

On l'appela tout d'abord « monnaie volante », car il était si léger qu'un souffle le faisait s'échapper de la main. Le premier papier-monnaie fut plutôt un effet à vue qu'une réelle monnaie d'échange. Un marchand pouvait déposer son argent dans la capitale, il recevait un papier, un certificat, qu'il pouvait alors échanger contre des pièces dans les provinces. Le gouvernement prit rapidement le relais de l'entreprise privée. Dès 812, cette technique fut utilisée pour faire parvenir des taxes locales et des revenus à la capitale. On utilisa des « certificats d'échange » qui étaient émis par les fonctionnaires gouvernementaux dans la capitale et qu'on pouvait échanger ailleurs contre des denrées comme le sel ou le thé.

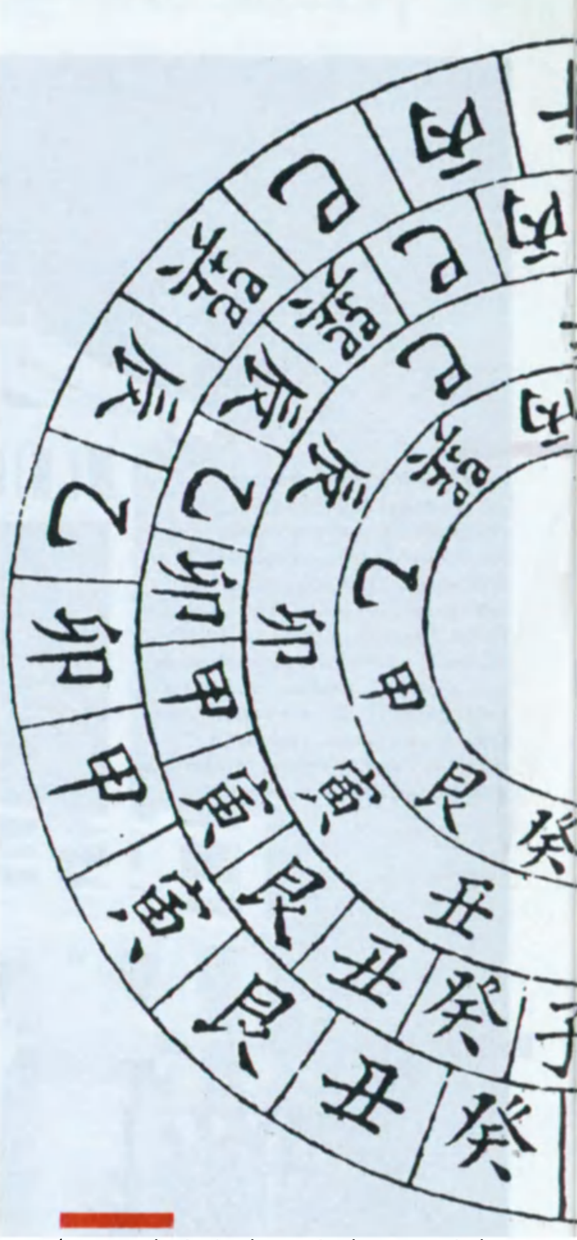
Le véritable papier-monnaie, employé comme moyen d'échange et couvert par un dépôt en espèces, apparut tôt au 10e siècle dans la province méridionale du Sichuan. C'était le fruit d'une initiative privée. Dès le 11e siècle, le gouvernement autorisa 16 entreprises privées ou « banques » à émettre des effets de change mais, en 1023, le gouvernement s'empara de ces entreprises et mit sur pied sa propre agence officielle d'émission de billets qui, sous différentes dénominations, étaient couverts par des dépôts en espèces. Cette banque d'Etat émettait un papier-monnaie d'une valeur limitée dans le temps. Un avis imprimé sur le billet lui-même indiquait qu'il n'était valable que trois ans et donnait les dates d'émission et de retrait. Dès 1107, les billets sont imprimés à l'aide de plusieurs blocs de bois gravés et pas moins de 6 couleurs.

Les émissions de papier-monnaie par le gouvernement prirent d'énormes proportions. En 1126, 70 millions de cordes (chaque corde est égale à un millier de pièces de monnaie) avaient été émises officiellement. De grandes quantités de papier-monnaie n'étaient plus couvertes par aucun dépôt, et une énorme inflation se produisit.

La contrefaçon se développa rapidement. Les autorités tentèrent de rendre les processus de fabrication si compliqués qu'ils ne puissent pas être exactement reproduits. Des secrets de fabrication complexes furent très tôt adoptés, incluant de multiples couleurs, des dessins subtils et un mélange de fibres dans le papier. Le matériau de base du papier-monnaie était l'écorce du mûrier, mais de la soie y était souvent incorporée. On pouvait rendre les billets souillés ou usés et en obtenir de nouveaux, moyennant une somme modique pour l'impression et le remplacement.

Quand les Mongols arrivèrent au pouvoir en Chine, ils émirent une forme de papier-monnaie appelé « billet de soie ». Les dépôts couvrant cette valeur n'étaient pas constitués de métal précieux mais de ballots de soie tissée. En 1294, les billets de soie chinois étaient utilisés dans un pays aussi éloigné que la Perse : en 1965, deux spécimens y furent trouvés par des archéologues.

Plus tard, sous la dynastie Ming, le papier-monnaie perdit une part de son efficacité. Les Ming émirent en 1375 un nouveau billet appelé « Billet précieux du Grand Ming ». Il ne fut émis que sous une valeur unique, d'un bout à l'autre des 200 ans durant lesquels il fut le garant légal de la monnaie. C'était évidemment peu commode pour les activités commerciales, aussi remit-on en circulation les pièces de cuivre, ne fut-ce que pour alimenter le change nécessaire à la vie quotidienne. Néanmoins, le « Billet précieux », du fait de l'inflation, perdit graduellement de sa valeur et fut remplacé par une monnaie d'argent. ■



Ce dessin tiré d'un traité de géomancie du début du 10e siècle indique *Les directions et les émanations de l'aiguille flottante* — l'aiguille aimantée flottant sur l'eau ou le mercure d'une boussole.

La déclinaison du champ magnétique terrestre



L'orientation du champ magnétique terrestre diffère légèrement de celle à laquelle on pourrait s'attendre. Le pôle magnétique de l'hémisphère nord se trouve en effet à quelque 1 900 km du pôle nord géographique de la planète. L'angle entre un repère pointant vers le pôle nord géographique et l'aiguille aimantée d'une boussole qui indique le pôle magnétique porte le nom de « déclinaison ». Cet écart varie dans le temps (variation dite séculaire). Les Chinois avaient reconnu l'existence de la déclinaison dès le 8ᵉ ou, au plus tard, le 9ᵉ siècle après J.-C.

Ainsi que le souligne Needham :

« Cette découverte précédait de quelque cinq à six siècles l'acquisition de cette donnée par les Européens. Les Chinois théorisaient la déclinaison magnétique avant même que l'Europe ne connaisse la notion de polarité... »

La boussole et la polarité du champ magnétique terrestre ne sont mentionnées en Europe que vers 1190 après J.-C.; la Chine possédait alors la boussole depuis 1500 ans au moins. Dans le *Lac des rêves* le savant chinois Shen Gua (1186 après J.-C.) note à propos de la déclinaison magnétique :

« Les magiciens effleurent la pointe d'une aiguille avec un aimant naturel; celle-ci est alors capable de pivoter vers le sud. Mais en réalité, elle s'incline toujours légèrement vers l'est, et ne pointe donc pas vers le sud vrai. » ■

La brouette

La brouette est originaire du sud-ouest de la Chine. Elle fut apparemment inventée au 1ᵉʳ siècle avant J.-C. par un personnage semi-légendaire appelé Guo Yu... Une frise en relief dans une tombe, mise au jour près de Xuzhou (Jiangsu) nous en donne la première représentation : elle date de 100 après J.-C. On y voit clairement un homme assis sur une brouette. D'autres illustrations de la même période, soit sous la dynastie Han, indiquent un usage de plus en plus répandu de la brouette.

Les premières descriptions de la construction de ces brouettes sont à la fois discrètes et obscures. Pendant quelques siècles le secret de cette innovation fut sévèrement gardé. Il faut dire que les brouettes servaient à des fins militaires. Certaines portaient des hommes sur des sièges, d'autres transportaient le ravitaillement. Elles servaient aussi de barrière de protection mobile contre les charges de cavalerie. L'ingéniosité des Chinois semble ici encore avoir été sans limites. Il y eut des brouettes à voile, qui pouvaient atteindre, sur terre ou sur glace, 60 km à l'heure !

Les brouettes étaient déjà partout dans la vie chinoise avant qu'elles atteignent l'Europe. Elles sont conçues selon une grande variété de modèles. Sur certaines, la roue est placée au centre mort, avec le poids réparti autour de l'axe. Sur d'autres, la roue est à l'avant, comme dans les brouettes occidentales. Les roues sont tantôt grandes, tantôt petites. De petites roues supplémentaires équipent parfois l'avant pour faciliter le passage des nids de poules et autres obstacles. Toutes les formes et tous les formats existaient — et existent encore dans la Chine moderne. ■

Le laque

Cette boîte en laque en forme de fleur de prunier au décor de nuages et de dragons date du règne de Longqing (1567-1572), un des empereurs de la dynastie des Ming.

L'usage du laque remonte au moins au 13ᵉ siècle avant J.-C. La reine Fu Hao fut à cette époque enterrée dans un coffre laqué. On découvrit celui-ci dans sa tombe, restée intacte, à Anyang en 1976. Needham dit du laque : « C'est sans doute le premier plastique industriel inventé par l'homme. »

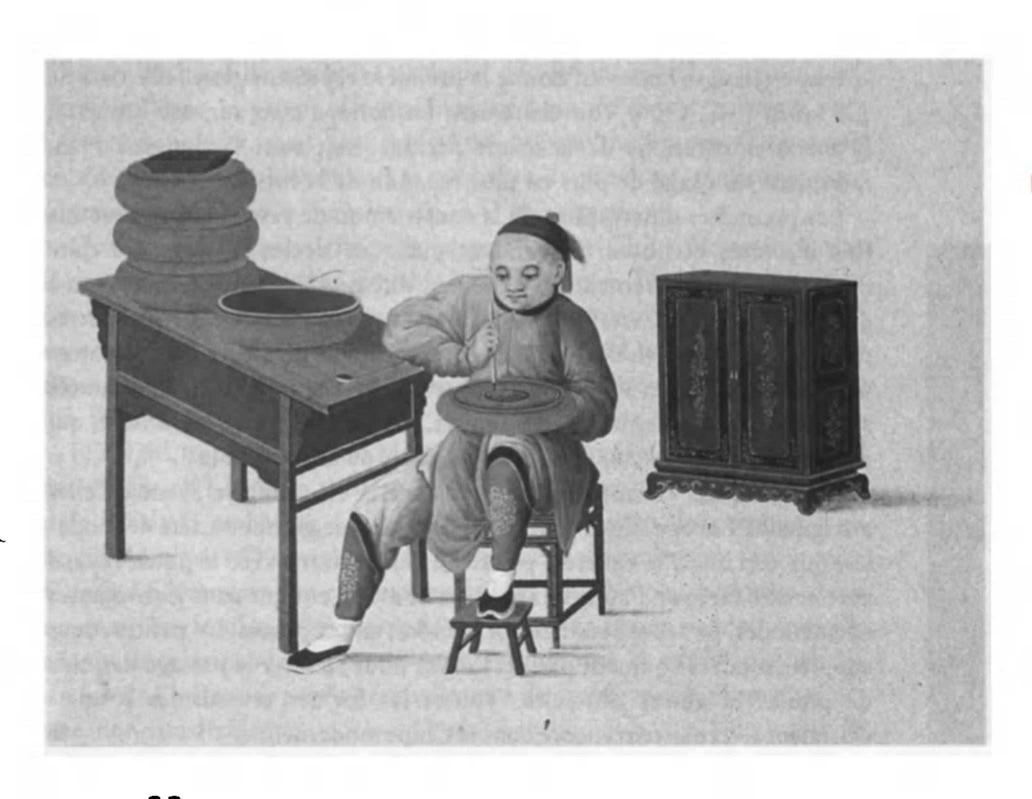
Le laque est obtenu, comme l'est le caoutchouc, en incisant l'écorce d'un arbre. L'arbre à laque *(Rhus vernicifera*, récemment rebaptisé *verniciflua* par les botanistes) est indigène en Chine mais pas en Europe. Il est très commun en Chine centrale, où il croît à des altitudes variant entre 900 m et 2 000 m. Les arbres sont incisés en été tous les cinq à sept ans. Quelquefois, l'arbre est abattu après incision et une gomme inférieure en qualité est obtenue de ses branches. Un arbre ne produit normalement pas plus de 50 g de laque.

Le laque est un vernis plastique qui se conserve remarquablement bien. Il est résistant et durable. Les acides et les alcalis ne l'attaquent pas. Les températures au-dessous de 200 à 250 degrés ne l'affectent pas. Il résiste à l'eau et à la plupart des solvants, ainsi qu'aux bactéries.

En Chine, il y a des milliers d'années qu'on laque les ustensiles de cuisine. En bambou, en bois ou en toile, ils sont couverts de nombreuses mais fines couches de laque. Ils ont remplacé la vaisselle de bronze à la table des riches Chinois. Ils supportaient la chaleur des aliments cuisinés. Les empereurs de Chine faisaient don d'objets en laque aux hauts fonctionnaires en reconnaissance de leurs services.

Le laque fut employée pour le mobilier, les paravents, appuis-tête et boîtes de toutes sortes. On en fit des chapeaux et des chaussures, des fourreaux d'épées, des arcs et des boucliers. Le laque était souvent incrusté d'or, d'argent ou d'écaille de tortue. Sa finesse rendait possible une parfaite liberté d'inspiration dans la décoration, aussi a-t-il eu une influence profonde sur l'art chinois.

Dans l'ancienne Chine, l'industrie du laque était hautement organisée, à la mode chinoise, c'est-à-dire de façon bureaucratique. Les manufactures étaient à la fois privées et d'Etat. Une coupe à vin laquée datée de l'an 4 après J.-C. précise même la liste des sept artisans ayant participé à son exécution, plus les noms de cinq mandataires de l'atelier ! Douze personnes pour produire une coupe, dont une moitié de fonctionnaires, cela évoque déjà une chaîne de production moderne.



Une des étapes de l'art du laque : un artisan incise un laque de motifs décoratifs (peinture de la fin du 18ᵉ siècle).

Dès le 2e siècle avant J.-C., les Chinois firent une découverte chimique importante. Ils trouvèrent le moyen d'éviter au laque de durcir par évaporation : ils y jetaient des crabes pour le conserver liquide ! Les tissus cellulaires des crustacés contiennent en fait de puissant agents chimiques qui inhibent certains enzymes, dont celui qui fait durcir le laque. Needham commente ainsi cette curieuse affaire :

« Les Chinois ont découvert accidentellement un puissant inhibiteur de la laccase... Cette spectaculaire intervention dans le cours naturel des choses, analogue à un arrêt du processus naturel de l'ankylose dû au vieillissement, intéressa vivement les alchimistes, préoccupés qu'ils étaient de conserver la souplesse de la jeunesse en retardant ou en supprimant l'ankylose et la mort. »

Ce laque, qui restait liquide, proposait un modèle d'immortalité. Il accompagnait le Chinois du berceau à la tombe. Bébé, il était nourri avec une cuiller laquée, dans une vaisselle de laque; mort, il était enterré dans un coffre laqué. ■

Trône en laque rouge datant de la période 1736-1796 de la dynastie des Qing.



Le premier canal à niveaux

En Chine, c'est au 3e siècle avant J.-C. que fut creusé le premier canal à niveaux : le *Lingqu*, ou Canal magique. Sa construction, qui fut une véritable prouesse, fut dirigée par Shi Lu, ingénieur aux ordres de l'empereur Qin Shi Huangdi. Elle répondait au souci d'améliorer l'approvisionnement des armées impériales envoyées dans le sud en 219 avant J.-C. pour soumettre le peuple Yue. Le grand historien Sima Qian (155 à 86 avant J.-C.) rapporte que :

« (L'Empereur) dépêcha les commandants (Zhao) Tuo et Tu Zhu pour amener dans le sud des hommes d'armes sur des bateaux, dans le but de conquérir les terres des cent tribus Yue. Il ordonna au surintendant (Shi) Lu de faire creuser un canal pour que les approvisionnements en grains puissent arriver jusqu'à l'intérieur du pays ».

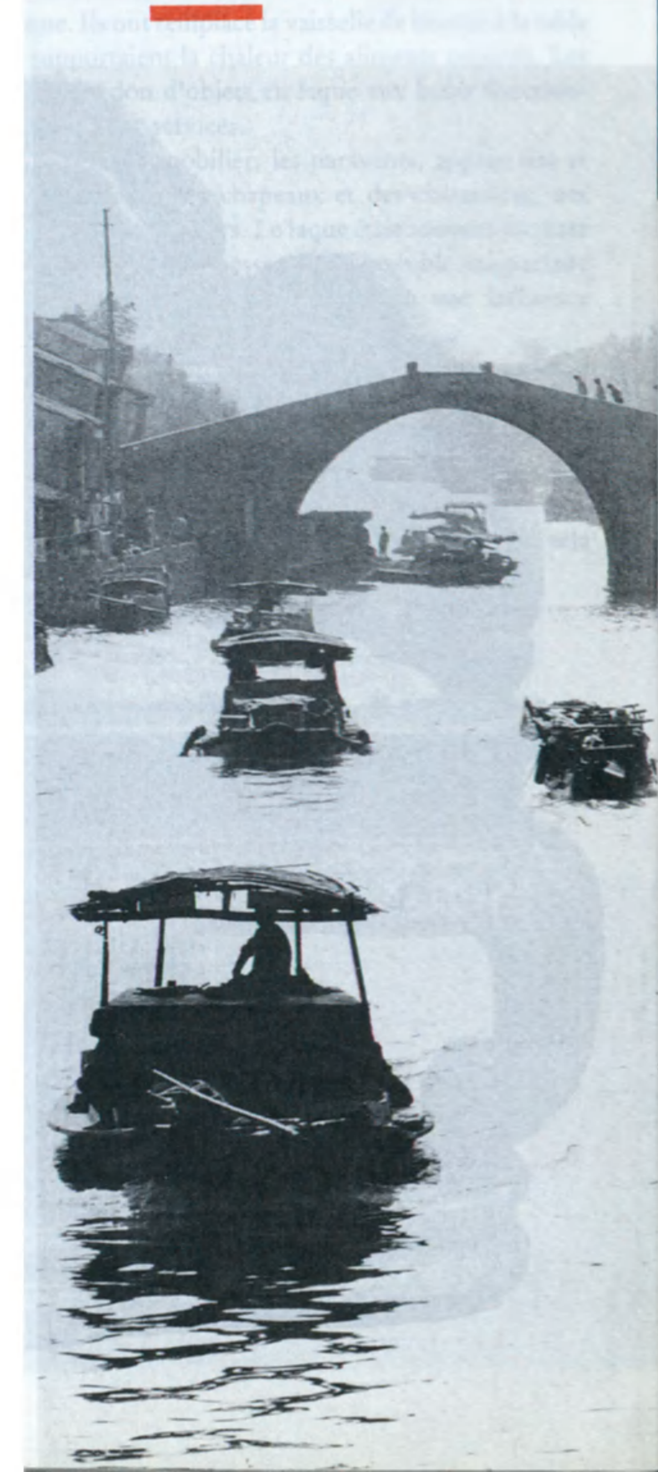
Le Canal magique, toujours utilisé aujourd'hui, a quelque 32 km de long. Son intérêt principal ne réside pas dans ses dimensions, somme toute modestes, mais dans le fait que cette voie d'eau, qui reliait deux rivières s'écoulant dans des directions opposées, a rendu possible la navigation des barges de transport sur une distance de 2000 km en ligne droite.

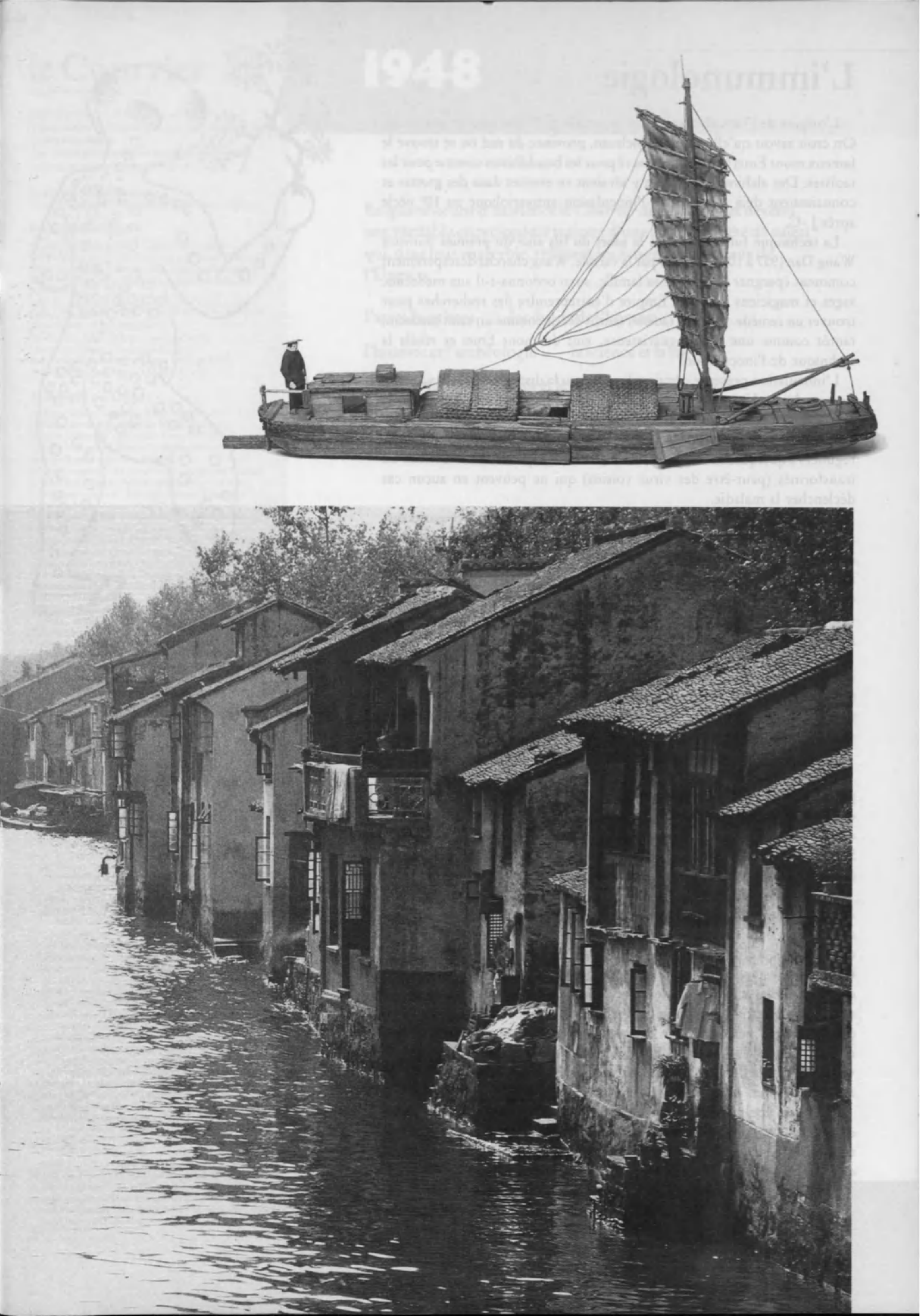
La difficulté à surmonter venait des directions d'écoulement opposées de ces deux rivières : la Xiang, qui prend sa source au mont Haiyang, coule vers le nord, alors que la Li coule vers le sud. Elles jouaient par ailleurs un rôle économique et stratégique évident : la première se jette dans le fleuve Bleu et la seconde finit dans un affluent du Xi Jiang, lequel, sous le nom de Rivière des Perles, mène à Canton. Près du village de Xing'an, elles ne sont séparées l'une de l'autre que par une série de collines calcaires dont l'extension latérale ne dépasse pas 5 km. Une jonction simple ne pouvait être envisagée, il fallait donc imaginer une autre solution.

Un col naturel ouvert dans ces hauteurs permettait bien le passage d'une voie navigable, mais les rivières elles-mêmes étaient fort capricieuses. On dut creuser sur 2,4 km un bief parallèle à la Xiang, pour obtenir un chenal à la pente plus régulière que celle de la rivière. A l'autre bout, quelque 22 km de la Li furent canalisés pour en régulariser le cours et la rendre navigable. Alors seulement le creusement de la jonction longue de 5 km put commencer. Un tertre en forme de museau fut érigé au milieu de la Xiang pour en fractionner le cours et entraîner la plus grande partie de ses eaux tumultueuses. Ce « brise-courant » était complété par deux déversoirs, et d'autres chenaux similaires furent construits plus bas. Plusieurs ponts enjambaient le canal, large de 4,5 m et profond d'un mètre à Xing'an. Le système de séparation des eaux et des déversoirs réduisit de 70 pour cent la quantité d'eau de la Xiang arrivant à l'entrée du canal, qui ne pouvait ainsi plus déborder.

Epousant les contours du col, le canal était pratiquement plan. Dix-huit écluses simples furent installées, au plus tard au 9e siècle, réduisant le nombre de zones de halage, en régularisant à la fois l'écoulement et le niveau de l'eau. Elles furent elles-mêmes remplacées au 10e ou au 11e siècle par des écluses à sas. Le Canal magique devint une voie navigable sacrée, dont l'esprit maître était le dragon. Un pont de chemin de fer enjambe aujourd'hui le vieux Canal magique, toujours en usage. ■

Ce type de jonque articulée, servant au transport des marchandises, fut spécialement conçu pour franchir les nombreux coudes serrés et les passages peu profonds du Grand canal, gigantesque artère navigable, de près de 1 800 km de long, qui fut achevée au 14e siècle. Séparables, la proue et la poupe de ce bateau long et étroit peuvent être manœuvrées indépendamment l'une de l'autre. Le mât s'abaisse complètement pour passer sous les ponts assez bas qui enjambent le canal. Ci-dessous, le Grand canal aujourd'hui, à Wuxi.





L'immunologie

L'origine de l'inoculation contre la variole en Chine reste mystérieuse. On croit savoir qu'elle vient du Sichuan, province du sud où se trouve le fameux mont Emei (Emeishan), sacré pour les bouddhistes comme pour les taoïstes. Des alchimistes taoïstes y vivaient en ermites dans des grottes et connaissaient déjà le secret de l'inoculation antivariolique au 10e siècle après J.-C.

La technique fut divulguée à la mort du fils aîné du premier ministre Wang Dan (957 à 1027), frappé par la variole. Wang chercha désespérément comment épargner le reste de sa famille, aussi ordonna-t-il aux médecins, sages et magiciens de tout l'Empire d'entreprendre des recherches pour trouver un remède. Un sage taoïste, tantôt décrit comme un saint médecin, tantôt comme une nonne guérisseuse, vint du mont Emei et révéla la technique de l'inoculation.

L'inoculation présente certains dangers qui la distinguent de la vaccination moderne. Une personne inoculée a désormais des virus actifs dans le corps et, si l'expérience réussit, elle est immunisée à vie. Si l'intervention échoue, elle peut mourir de la variole. La vaccination, qui exige des rappels réguliers à quelques années d'intervalle, n'inocule que des virus affaiblis ou transformés (peut-être des virus voisins) qui ne peuvent en aucun cas déclencher la maladie.

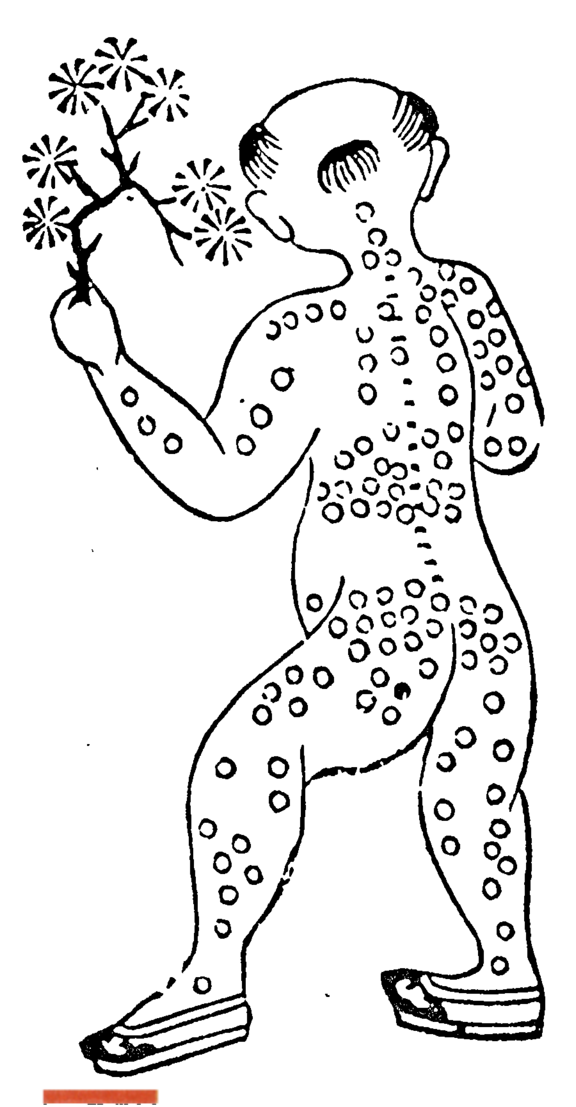
Inoculer la variole semble à première vue aberrant : n'est-ce pas transmettre directement la maladie ? Mais les Chinois le pratiquaient en s'efforçant d'atténuer la virulence du virus mortel. Il était par exemple formellement interdit de prélever des virus sur une personne atteinte. Les virus devaient être à l'état naissant : en chinois, « inoculer » se traduit littéralement par « planter des germes » (*Zhong dou* ou *Zhong miao* « semer le germe, la pousse »).

La méthode consistait à insérer dans les narines un morceau de coton imbibé de virus de la variole, qui étaient absorbés par la muqueuse nasale. (La technique de la scarification semble s'être développée beaucoup plus tard, peut-être en Asie centrale, à mesure que ces méthodes se répandaient vers l'Ouest).

Les praticiens avaient identifié deux types de variole, *Variola major* et *Variola minor*, dont les virus étaient moins virulents. Il était conseillé de prélever les virus sur des personnes déjà immunisées : ou mieux encore, sur des personnes inoculées par des virus provenant d'individus déjà inoculés, en d'autres termes des virus affaiblis au cours de plusieurs générations. Selon une citation extraite de l'*Inoculation de la variole* de Zhang Yan (1741), il existait un autre moyen d'affaiblir le virus :

« Recueillir des croûtes de variole sur une feuille de papier et les introduire dans une petite fiole hermétiquement fermée. N'exposer ni au soleil ni au feu, mais la porter sur soi pour que les virus prolifèrent doucement à la chaleur du corps. Dater soigneusement le prélèvement. En hiver, la substance contient une grande quantité d'énergie *yang*, aussi demeure-t-elle active plus de trente jours. En été, cette énergie met seulement vingt jours pour se dissiper. Pour atteindre un effet optimum (inoculer neuf personnes sur dix avec succès), il faut utiliser des virus récents. Trop vieux, ils perdent leur efficacité. Au cas où la demande de virus dépasserait l'offre, on peut mélanger des germes frais aux plus anciens, mais en augmentant la quantité de substance inoculée. »

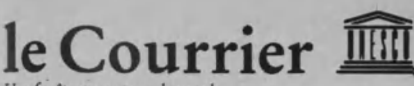
Needham commente ainsi de telles indications : « Le système consistait en général à conserver l'échantillon prélevé un mois ou plus à la température de 37 degrés, ce qui avait certainement pour effet de neutraliser 80 pour cent des virus, mais, à cause de la présence de protéines mortes, l'inoculation stimulait aussi bien la production d'interférons que celles d'anticorps. » En d'autres termes, si les 80 pour cent de virus morts ne pouvaient tuer personne, ils stimulaient par contre le système immunitaire. ■



La vaccination est apparue au 10e siècle en Chine, avec la pratique de l'inoculation contre la variole. Ce document tiré du *Miroir d'or de la médecine* (1743) montre un enfant atteint de cette maladie.

Crédits photographiques

Pages 2, 4-5, 8, 10, 33 : Photos Rony Heirman © Commissariat général pour la coopération internationale du gouvernement flamand, Bruxelles — Institut Chine-Europe, Louvain — Centre international pour la science, Beijing. **Pages 4, 17, 29 :** Photos © The MacQuitty Collection, Londres **Page 5** (*en bas*) : Photo British Library, Londres © Commissariat général pour la coopération internationale du gouvernement flamand, Bruxelles — Institut Chine-Europe, Louvain — Centre international pour la science, Beijing. **Page 6 :** Photo Rony Heirman © Commissariat général pour la coopération internationale du gouvernement flamand, Bruxelles — Institut Chine-Europe, Louvain — Centre international pour la science, Beijing, Musée de Nankin **Pages 7, 20 :** Photos Paolo Koch © Rapho, Paris. **Pages 11, 16 :** Photos Rony Heirman © Commissariat général pour la coopération internationale du gouvernement flamand, Bruxelles — Institut Chine-Europe, Louvain — Centre international pour la science, Beijing — Needham Research Institute, Cambridge. **Page 12 :** dessin extrait de *Tiangong kaiwu (1637)*. **Pages 14-15, 26, 27 :** Photos © Science Museum, Londres **Pages 18, 22-23 :** Photos © Ashmolean Museum, Oxford. **Pages 19, 22 :** Photos © Réunion des Musées nationaux, Musée Guimet, Paris. **Pages 21, 28-29 :** documents extraits des vol. III et IV de *Science and Civilisation in China* par Joseph Needham, Cambridge University Press, Royaume-Uni. **Pages 23** (*en haut*), **30** (*en bas*) : Photos © Aldus Archives, Londres. **Page 23** (*en bas*) : Photo © John Webb, Victoria and Albert Museum, Londres. **Page 24 :** Photo © Bruce Coleman, Uxbridge, Royaume-Uni. **Page 25 :** Photo Cecil Beaton © Imperial War Museum, Londres. **Page 31 :** Photo © Victoria and Albert Museum, Londres. **Pages 32-33 :** Photo Georg Gerster © Rapho, Paris. **Page 34 :** tiré de *Clerks and Craftsmen in China and the West* par Joseph Needham, Cambridge University Press, Royaume-Uni.



Une fenêtre ouverte sur le monde

Mensuel publié en **35 langues** par l'Unesco, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.
Une édition trimestrielle en **braille** est publiée en français, en anglais, en espagnol et en coréen.

Bureau de la Rédaction :
Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700, Paris, France.

Rédaction au Siège :
Secrétaire de rédaction : Gillian Whitcomb
Edition française : Alain Lévêque, Neda el Khazen
Edition anglaise : Roy Malkin, Caroline Lawrence
Edition espagnole : Francisco Fernandez Santos, Miguel Labarca
Edition arabe : Abdelrashid Elsadek Mahmoudi
Edition braille :
Illustration : Ariane Bailey
Maquettes, fabrication : Georges Servat
Documentation : Violette Ringelstein
Relations éditions hors Siège : Solange Belin
Ventes et abonnements : Henry Knobil

Rédacteurs hors siège :
Edition russe : Gueorgui Zélénine (Moscou)
Edition allemande : Werner Merkli (Berne)
Edition japonaise : Seiichiro Kojima (Tokyo)
Edition italienne : Mario Guidotti (Rome)
Edition hindie : Sri Ram (Delhi)
Edition tamoule : M. Mohammed Mustafa (Madras)
Edition hébraïque : Alexander Broïdo (Tel Aviv)
Edition persane : H. Sadough Vanini (Téhéran)
Edition néerlandaise : Paul Morren (Anvers)
Edition portugaise : Benedicto Silva (Rio de Janeiro)
Edition turque : Mefra Ilgazer (Istanbul)
Edition ourdoue : Hakim Mohammed Saïd (Karachi)
Edition catalane : Joan Carreras i Marti (Barcelone)
Edition malaise : Abdul Manaf Saad (Kuala Lumpur)
Edition coréenne : Paik Syeung-Gil (Séoul)
Edition kiswahili : Domino Rutayebesibwa Dar-es-Salaam)
Editions croato-serbe, macédonienne, serbo-croate, slovène : Bozidar Perković (Belgrade)
Edition chinoise : Shen Guofen (Beijing)
Edition bulgare : Goran Gotev (Sofia)
Edition grecque : Nicolas Papageorgiou (Athènes)
Edition cinghalaise : S.J. Sumanasekera Banda (Colombo)
Edition finnoise : Marjatta Oksanen (Helsinki)
Edition suédoise : Lina Svenzén (Stockholm)
Edition basque : Gurutz Larrañaga (San Sebastian)
Edition thaï : Savitri Suwansathit (Bangkok)
Edition vietnamienne : Dao Tung (Hanoi)
Edition pachto : Nasir Seham (Kaboul)
Edition haoussa: Habib Alhassan (Sokoto)

Vente et distribution :
Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris.
Belgique : Jean de Lannoy, 202, avenue du Roi, Bruxelles 1060.

Abonnement :
1 an : 90 francs français.
2 ans (uniquement en France) : 160 francs.
Reliure pour une année : 62 francs.
Microfiches (1 an) : 85 francs.
Paiement par chèque bancaire, mandat ou CCP 3 volets à l'ordre de l'Unesco.

Les articles et photos non copyright peuvent être reproduits à condition d'être accompagnés du nom de l'auteur et de la mention « Reproduits du *Courrier de l'Unesco* », en précisant la date du numéro. Trois justificatifs devront être envoyés à la direction du *Courrier*. Les photos non copyright seront fournies aux publications qui en feront la demande. Les manuscrits non sollicités par la Rédaction ne seront renvoyés que s'ils sont accompagnés d'un coupon-réponse international. Les articles paraissant dans le *Courrier de l'Unesco* expriment l'opinion de leurs auteurs et non pas nécessairement celle de l'Unesco ou de la Rédaction. Les titres des articles et les légendes des photos sont de la Rédaction. Enfin, les frontières qui figurent sur les cartes que nous publions n'impliquent pas reconnaissance officielle par l'Unesco ou les Nations Unies.

Toute correspondance doit être adressée au Rédacteur en chef.

Imprimé en France (Printed in France) - Dépôt légal : C1 - Octobre 1988 - Commission paritaire N° 27253 - Diffusé par les N.M.P.P.
Photogravure-impression : Maury-Imprimeur S.A., Z.I. route d'Etampes, 45330 Malesherbes.

ISSN 0304-3118
N° 10 - 1988 - OPI - 88 - 3 - 461 F

1948

En quarante ans d'existence le *Courrier de l'Unesco* est devenu une véritable encyclopédie traitant d'une grande variété de sujets qui, dans leur ensemble, reflètent les actions et les idéaux de l'Unesco.

l'art et la culture — les droits de l'homme

l'histoire et l'archéologie — la science et la vie

la diversité des coutumes et le brassage des cultures

l'homme et son environnement — les problèmes du développement

Le Courrier de l'Unesco **index cumulatif**

Mais jusqu'ici le *Courrier de l'Unesco* est resté une encyclopédie sans clef d'accès à ses richesses.

Nous publions enfin l'index cumulatif des quarante premières années (1948-1987) qui, outre son mode d'utilisation, contient 166 pages composées d'un index des matières, d'un index des auteurs et de la liste exhaustive des tables des matières des numéros parus.

Exploitez toutes les ressources de votre collection en achetant l'*Index cumulatif du Courrier de l'Unesco 1948-1987,* pour 75 F seulement.

Envoyez vos commandes aux services de vente des périodiques des Presses de l'Unesco, ou adressez-vous à votre libraire habituel (ou agent national, si vous habitez hors de France).

1987

